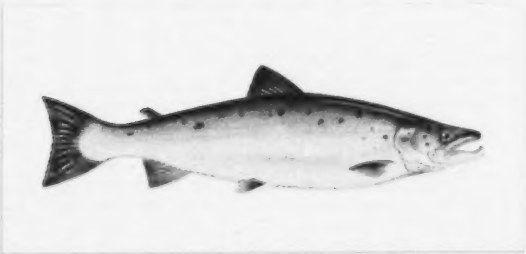
Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique
Région des Maritimes **Avis scientifique 2018/041**

EXAMEN DE LA SCIENCE ASSOCIÉE À LA BANQUE DE GÈNES VIVANTS DU SAUMON DE L'INTÉRIEUR DE LA BAIE DE FUNDY ET AUX PROGRAMMES D'ENSEMENCEMENT



Dessin au trait d'un saumon de l'Atlantique adulte mâle (adapté à partir d'Amiro 2003).

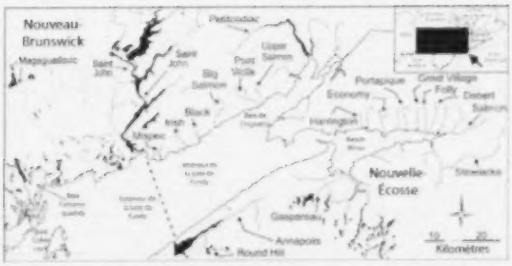


Figure 1. Emplacement des rivières de l'intérieur de la baie de Fundy, y compris celles visées par l'examen (caractères bleus).

Contexte :

L'unité désignable du saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy, qui comprenait jadis des dizaines de milliers de montaisons d'adultes, a commencé à diminuer à la fin des années 1980. La diminution de l'effectif de la population s'est poursuivie jusque dans les années 1990; puis, en 1999, il a été estimé que moins de 250 adultes sont retournés dans les plus ou moins 50 rivières de l'intérieur de la baie. Afin d'empêcher la disparition imminente de ce groupe de saumon de l'Atlantique distinct sur les plans phénotypique et génétique, on a capturé une partie des derniers juvéniles de 1998 à 2001 avant de les transférer dans des centres de biodiversité situées dans la région des Maritimes de Pêches et Océans Canada aux fins de reproduction et d'élevage en captivité. Bien que le programme de banque de gènes vivants (BGV), associé aux efforts d'ensemencement avec des saumons juvéniles et adultes, existe depuis plus de 15 ans (ce qui couvre trois générations de saumon), on dispose de peu de preuves étayant un certain progrès vers le rétablissement des populations autosuffisantes.

Le maintien des petites populations en captivité ou en semi-captivité ne se fait pas sans risques; en effet, certains de ces risques pourraient avoir des répercussions sur l'efficacité des efforts actuels ou futurs de rétablissement de la population. Les préoccupations possibles comprennent entre autres les suivantes : (i) perte de variation génétique; (ii) augmentation de la consanguinité et de la dépression consanguine associée; (iii) changements aléatoires dans l'ensemble des répartitions des fréquences des allèles et perte d'adaptation locale; et (iv) adaptation à la captivité et perte de valeur adaptative en milieu sauvage associée.

La réunion d'examen visait à évaluer (a) la science associée à l'élaboration et aux modifications en cours du programme de BGV; (b) les taux de modification génétique causée par le courant de dérive (voir les points i à iii ci-dessus) qui est observée chez le saumon de l'intérieur de la baie de Fundy et gérée dans le cadre du programme; (c) les effets de plusieurs variables du programme sur les caractéristiques liées à la valeur adaptative, à la fois en captivité et en milieu sauvage; (d) les taux et la direction des changements dans une série de caractéristiques phénotypiques surveillés au fil du temps; (e) les changements génétiques possibles au sein de la population de la rivière Big Salmon découlant d'une récente augmentation de l'hybridation introgressive touchant à la fois le saumon sauvage non indigène et le saumon d'élevage; et (f) les nombres et les origines des montaisons d'adultes dans les

rivières de l'intérieur de la baie de Fundy au cours des dernières années.

Le présent avis scientifique découle de la réunion du 13 au 16 juin 2017, où un examen de la science associée à la banque de gènes vivants pour le saumon de l'intérieur de la baie de Fundy a été réalisé. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

SOMMAIRE

- Le programme de BGV du saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy contribue à la réalisation de l'objectif 1 du Programme de rétablissement du saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy (préservation des caractéristiques génétiques du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy et rétablissement des populations autosuffisantes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy) et il s'inscrit également dans le programme de rétablissement du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy de plus grande envergure, qui prévoit l'apport de poissons d'élevage grâce à la remise en liberté de juvéniles et d'adultes dans l'habitat riverain d'origine.
- Cet examen fournit une évaluation du programme de BGV à la suite d'environ 15 ans (ou trois générations) d'activités de maintien de la population de saumon de l'intérieur de la baie de Fundy. Cette évaluation permettra d'orienter l'élaboration d'un plan quinquennal mis à jour pour le programme de BGV.
- Les résultats pour chacun des cinq cadres de référence de cet examen sont résumés ci-dessous, suivis d'un résumé des facteurs à prendre en considération pour la gestion future du programme de BGV. D'autres résultats et recommandations du programme sont présentés dans ce rapport.

Évaluer la réussite de la conservation des caractéristiques génétiques de la population de saumon de l'intérieur de la baie de Fundy sur trois générations de reproduction et d'élevage en captivité

- Les renseignements disponibles concernant la variabilité génétique et la valeur adaptative sont suffisants pour évaluer cet objectif visant uniquement la population de la rivière Stewiacke.
- La collecte initiale de 1 029 saumons de la rivière Stewiacke (soit le groupe de tacons capturés dans la nature entre 1998 et 2001, incluant les premiers fondateurs) a démontré un niveau très élevé de structuration familiale.
- Le degré de variation génétique observé chez la population actuelle de saumons de la rivière Stewiacke pourrait avoir été considérablement supérieur, et le niveau de consanguinité pourrait avoir été inférieur, si les collectes de fondateurs d'origine avaient été effectuées deux ans plus tôt.
- La grande variabilité de la contribution génétique des parents des fondateurs d'origine a entraîné, au fil du temps, une hausse des taux de perte de variation du parent fondateur (p. ex. les allèles parents fondateurs et les équivalents génomiques parents fondateurs) ainsi qu'un degré de consanguinité des générations suivantes plus élevé que prévu.
- La variation de la taille des familles était généralement plus faible pour les groupes élevés en captivité que pour les groupes exposés au milieu sauvage pour une année d'éclosion donnée.

- Dans l'ensemble, le taux de perte de variation génétique moléculaire entre les saumons fondateurs de la rivière Stewiacke et les saumons de deuxième génération était faible, bien qu'une certaine diminution ait été observée.

Enquêter sur les niveaux et les origines d'élevage en consanguinité chez le saumon de l'intérieur de la baie de Fundy

- Le nombre réel estimé d'individus reproducteurs dans la rivière Stewiacke dans le cadre du régime de gestion des descendants exposés au milieu naturel est probablement suffisamment élevé pour que les taux actuels de perte de variation génétique causée par une dérive génétique aléatoire et le degré de consanguinité demeurent relativement bas.

Évaluer les effets de l'ensemble du programme sur les caractères liés à la valeur adaptative du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy

- Rien n'indique que le milieu d'élevage des juvéniles précoces et des parents (en captivité versus dans la nature) pourrait avoir des effets sur la survie en milieu sauvage des descendants aux stades initiaux.
- Durant certaines années, le milieu d'élevage des juvéniles précoces et des parents (en captivité versus dans la nature) pourrait avoir influencé la taille selon l'âge des descendants au cours de leur première année dans la nature; en effet, les descendants de saumons exposés au milieu naturel étaient de taille et de poids supérieurs aux descendants de parents élevés exclusivement en captivité.
- Aucun élément de preuve n'a permis de démontrer les effets cumulatifs négatifs possibles des milieux d'élevage en captivité des juvéniles précoces et des ancêtres (parents et grands-parents) sur la survie des descendants dans la nature.
- Durant certaines années, on a observé une possible influence négative du nombre croissant de générations de reproduction et d'élevage en captivité sur la survie dans la nature et, bien que cette influence eût été moindre, le nombre de générations pour lesquelles de telles comparaisons étaient possibles était assez restreint.
- On n'a observé aucune association entre les mesures de variation génétique moléculaire ou la consanguinité généalogique et la survie dans la nature ou l'incidence, ou le pourcentage, de difformités chez les alevins.
- Il a été démontré que l'âge du parent de sexe féminin, mais pas l'âge du parent de sexe masculin, avait un effet marqué sur de nombreux caractères de performance des descendants, y compris la survie dans la nature de la remise en liberté à l'âge 1, et que cet effet était constant sur plusieurs années. Il semblerait que cet effet soit en partie attribuable à la taille des œufs, mais l'âge du parent de sexe féminin a aussi été associé à une augmentation de la survie, indépendamment de la taille des œufs, durant certaines années.
- Dans l'ensemble, la plupart des caractères surveillés au sein de la population de la rivière Stewiacke n'ont pas suivi de tendance perceptible pendant la durée du programme.

Évaluer l'état du saumon de l'Atlantique dans l'unité désignable de l'intérieur de la baie de Fundy, en se fondant sur les renseignements du MPO et, dans la mesure du possible, évaluer l'efficacité ou le caractère approprié de différentes stratégies de remise à l'eau

- L'observation selon laquelle les saumons juvéniles ont complètement disparu ou se retrouvent en de très faibles densités indique une absence de montaison des saumons

vraiment sauvages de l'intérieur de la baie de Fundy et laisse croire que ces saumons auraient fort probablement disparu sans le programme de BGV.

- D'après l'analyse génétique, environ 24 % des montaisons de petits saumons dans la rivière Big Salmon et la majorité des montaisons d'adultes vers le barrage de White Rock sur la rivière Gaspereau découlent directement du programme de BGV.
- De 2003 à 2016, la production annuelle de saumoneaux dans la rivière Big Salmon se chiffrait à environ 13 400 saumoneaux. Au cours de cette même période, les productions annuelles réparties selon l'origine vont comme suit : les adultes reproducteurs ont produit 4 729 poissons, les alevins vésiculés remis à l'eau de la BGV ont produit 4 646 poissons et les tacons de printemps et d'automne marqués par une rognure de la nageoire adipeuse et issus de la BGV ont produit 4 034 poissons.
- Le pourcentage de ponte requise pour la conservation dans les rivières Gaspereau et Big Salmon est bien en deçà des exigences en raison d'une survie faible en milieu marin. Le taux de montaison des saumoneaux jusqu'au stade de petit saumon observé au sein du groupe composé de reproducteurs adultes, d'alevins de la BGV et de tacons de la BGV était constamment en deçà de 1 % et de 0,32 % en moyenne de 2002 à 2016 dans la rivière Big Salmon.
- Le taux moyen de montaison des saumoneaux jusqu'au stade de petit saumon observé chez les saumoneaux provenant d'alevins de la BGV est de 0,20 %, soit environ trois fois supérieur au taux moyen de montaison observé chez les saumoneaux de la BGV qui ont été relâchés à l'état de tacon.

Fournir des renseignements sur l'introgression du matériel génétique d'individus sauvages non indigènes et de l'aquaculture dans les populations de l'intérieur de la baie de Fundy

- La structuration génétique entre le saumon de l'extérieur de la baie de Fundy et le saumon de la rivière Big Salmon semble diminuer au fil du temps. Les résultats de plusieurs analyses génétiques de la population concordent tous avec le flux génétique continu et important de sources non locales (possiblement l'extérieur de la baie de Fundy) dans le patrimoine génétique de la rivière Big Salmon, et cela pourrait représenter un risque pour la conservation des caractéristiques génétiques de l'intérieur de la baie de Fundy au sein de la population de la BGV dans la rivière Big Salmon.
- Une ascendance de saumons d'élevage européens, qui constitue la source immédiate de ce qui semble être l'industrie locale (baie de Fundy/golfe du Maine), a été décelée dans les saumons capturés dans la rivière Upper Salmon et d'autres rivières de l'intérieur de la baie de Fundy. Les saumons d'élevage européens fugitifs, ou leur progéniture hybride issue d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains, semblent avoir frayé dans l'intérieur de la baie de Fundy au cours de la période s'étendant de 1997 à 2012, y compris durant la totalité ou la majorité des années comprises dans cette période.
- Les analyses démontrent que les saumons d'élevage fugitifs d'ascendance européenne se sont reproduits avec succès dans plusieurs rivières de l'intérieur de la baie de Fundy et semblent avoir frayé avec le saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy menacé de disparition.
- La survie des hybrides d'élevage européens et nord-américains au stade juvénile précoce pourrait être inférieure à celle des parents purs de la rivière Stewiacke dans l'habitat sauvage de la rivière Stewiacke.

Facteurs à prendre en considération pour la gestion future du programme de BGV

- Le nombre attendu de montaisons d'adultes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy (0 à 10 pour la plupart des années, à l'exception de la rivière Big Salmon) est probablement trop faible pour que la sélection naturelle soit efficace dans le maintien ou l'augmentation de la survie dans les conditions actuelles et possiblement changeantes du milieu marin. Pour que la sélection naturelle ait une incidence sur la survie des saumoneaux jusqu'à l'âge adulte, un nombre suffisant de saumoneaux doivent quitter l'une des rivières de l'intérieur de la baie de Fundy afin qu'un nombre faible à modéré d'adultes retournent soit pour se reproduire dans leur habitat riverain d'origine, soit pour s'introduire directement dans les populations de la BGV en tant que reproducteurs. Dans un tel cas, il pourrait s'avérer nécessaire d'augmenter le nombre de poissons relâchés dans le cadre du programme de BGV.
- Il existe plusieurs moyens visant à maintenir une taille effective de la population importante dans le cadre des programmes de BGV à l'intérieur de la baie de Fundy, chacun comportant un niveau d'utilisation des différentes ressources variable; ainsi, la meilleure approche pourrait être choisie en fonction de la rareté de chaque ressource à un moment précis.
- Si un changement d'orientation du programme de rétablissement à l'intérieur de la baie de Fundy devait être envisagé, par exemple pour passer du maintien de la variation génétique au rétablissement des populations sauvages autosuffisantes, la mesure dans laquelle les ressources devraient être redirigées devrait tenir compte à la fois des coûts (p. ex. efficacité réduite liée au maintien de la variation génétique) et des avantages (p. ex. la probabilité que des progrès soient réalisés dans le rétablissement des populations autosuffisantes selon les conditions actuelles en milieu marin).

INTRODUCTION

Le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a désigné la population de saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy comme une unité désignable et a évalué que cette population était menacée en mai 2001 (COSEPAC 2006). Cette population a été inscrite comme espèce menacée à l'annexe 1 de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) lorsque celle-ci a été adoptée en 2002. En 1998, avant l'inscription de l'espèce en vertu de la LEP, les tendances de la population observées dans plusieurs rivières de l'intérieur de la baie de Fundy avaient entraîné le prélèvement de juvéniles en vue de les élever dans les centres de biodiversité de la région des Maritimes (Mactaquac, Mersey et Coldbrook), permettant ainsi le lancement efficace des programmes actuels de banque de gènes vivants. L'objectif du programme de banque de gènes vivants consiste à utiliser des technologies de reproduction et d'élevage en captivité pour conserver les caractéristiques génétiques du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy et maintenir les populations jusqu'à ce qu'un rétablissement soit possible (MPO 2008a). En 2008, l'évaluation du potentiel de rétablissement a permis de prévoir que cette population disparaîtrait sans le soutien du programme de banque de gènes vivants (MPO 2008b; Gibson *et al.* 2008).

Plusieurs évaluations ont été menées au cours des dernières années pour vérifier le mérite scientifique du programme de BGV (O'Reilly et Harvie 2010; O'Reilly et Doyle 2007; O'Reilly et Kozfkay 2014). Cependant, une analyse et un examen approfondis de la contribution du programme de BGV (et des activités d'ensemencement associées) sur les objectifs en matière de rétablissement de la population de saumon de l'intérieur de la baie de Fundy pour la durée du programme n'ont pas été réalisés. C'est pourquoi la Direction des sciences du MPO, Région des Maritimes, a demandé l'évaluation de la science du saumon de l'intérieur de la baie de

Fundy pour toutes les activités du programme de banque de gènes vivants et les activités connexes. L'objectif de cet examen était de fournir une évaluation du programme de BGV à la suite d'environ 15 ans (ou trois générations) d'activités de maintien de la population de saumon de l'intérieur de la baie de Fundy, étant donné que le rétablissement de la population n'a pas encore eu lieu. Cet examen orientera l'élaboration d'un plan quinquennal mis à jour pour le programme de BGV.

L'objectif de la présente réunion consistait à évaluer la contribution du programme de BGV et des efforts d'ensemencement associés à l'atteinte des objectifs clés du programme de rétablissement du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy en vue de conserver les caractéristiques génétiques du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy et de rétablir les populations autosuffisantes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy. Plus précisément, les objectifs de la réunion étaient les suivants :

- Évaluer la réussite de la conservation des caractéristiques génétiques de la population de saumon de l'intérieur de la baie de Fundy sur trois générations de reproduction et d'élevage en captivité.
- Enquêter sur les niveaux et les origines d'élevage en consanguinité chez le saumon de l'intérieur de la baie de Fundy.
- Évaluer les effets de l'ensemble du programme (plusieurs générations de reproduction et d'élevage en captivité) et des stratégies de gestion précises utilisées dans le cadre du programme sur les caractères liés à la valeur adaptative du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy.
- Évaluer l'état du saumon de l'Atlantique dans l'unité désignable de l'intérieur de la baie de Fundy, en se fondant sur les renseignements du MPO et, dans la mesure du possible, évaluer l'efficacité ou le caractère approprié de différentes stratégies de remise à l'eau.

En outre, les derniers renseignements sur l'introgression d'individus sauvages non indigènes et du matériel génétique de l'aquaculture dans les populations de l'intérieur de la baie de Fundy ont été présentés aux fins de considération dans l'évaluation des activités du programme de BGV.

Le programme de BGV de l'intérieur de la baie de Fundy s'inscrit dans le programme de rétablissement du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy de plus grande envergure, qui prévoit également l'apport de poissons d'élevage grâce à la remise en liberté de juvéniles et d'adultes dans l'habitat riverain d'origine. Les activités du programme de banque de gènes vivants sont illustrées au-dessus de la ligne rouge pointillée dans le schéma ci-dessous (figure 2).

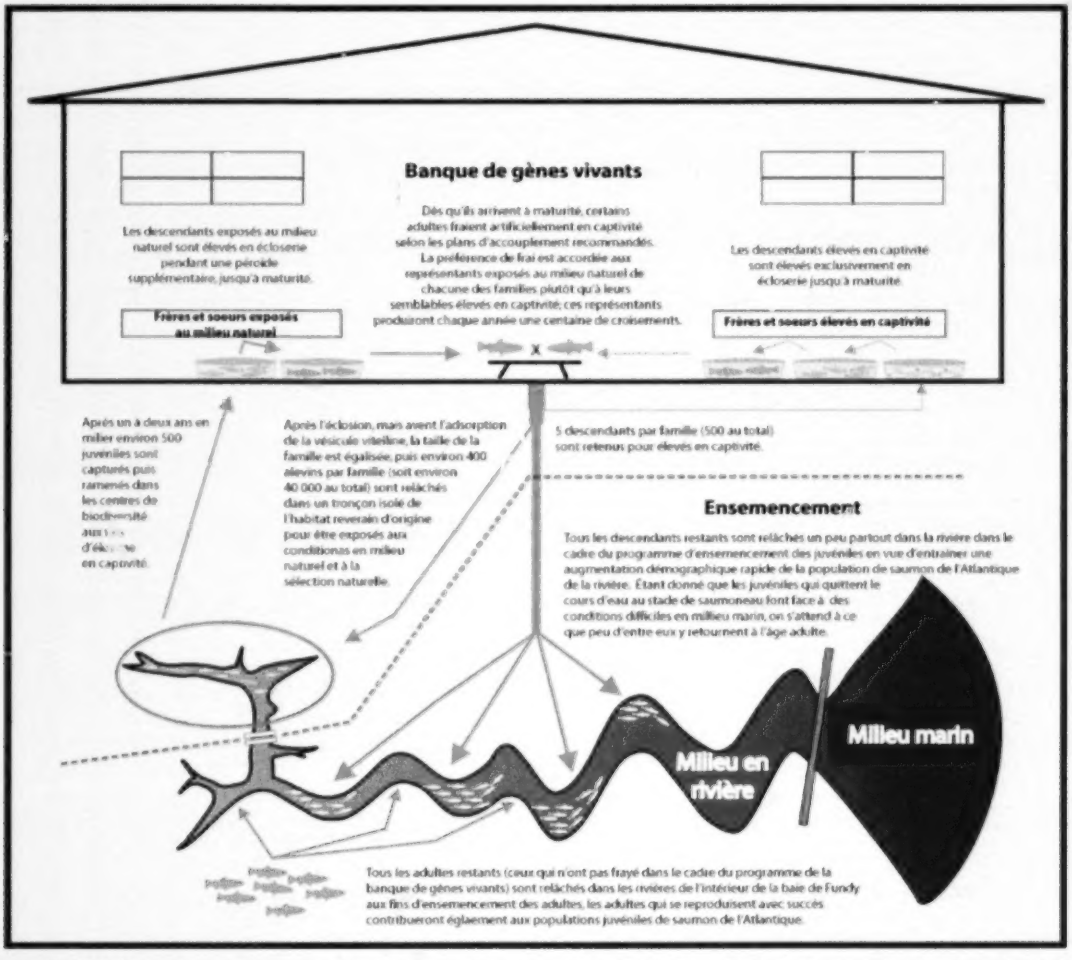


Figure 2. Schéma du programme de conservation actuel de l'intérieur de la baie de Fundy, dans la rivière Stewiacke, incluant les volets de la banque de gènes vivants (ligne rouge pointillée au-dessus) et de l'ensemencement (ligne rouge pointillée en dessous).

Avant l'arrivée à maturité, le saumon de l'Atlantique de la rivière Stewiacke pour une année d'éclosion ou une classe d'âge donnée est génotypé et contrôlé. Les reproducteurs sont sélectionnés dans le grand groupe de saumons matures disponibles, puis les mâles et les femelles sont appariés conformément aux plans d'accouplement prescrits basés sur les procédures d'apparentement moyen classé en vigueur. Aussitôt que les plus ou moins 100 croisements prescrits ont été effectués, un petit nombre de descendants (cinq par famille) sont élevés exclusivement en captivité jusqu'à l'arrivée à maturité (communément appelé « saumon élevé en captivité »). Un grand nombre de descendants (environ 400 par famille) sont dénombrés et relâchés dans un affluent isolé de la rivière Stewiacke (rivière Pembroke), où ils sont soumis à la sélection naturelle pendant un à deux ans avant d'être capturés puis ramenés au centre de biodiversité aux fins d'élevage en captivité (communément appelés « saumons exposés au milieu naturel »). Avant l'arrivée à maturité, les saumons élevés en captivité et les saumons exposés au milieu naturel sont génotypés, leur ascendance est déterminée et ils fraient (comme il est indiqué ci-dessus) pour produire la prochaine génération de saumons de la

rivière Stewiacke. Lorsque des individus élevés en captivité et exposés au milieu naturel d'une famille donnée sont disponibles, la préférence de frai est accordée au parent exposé au milieu naturel. Ensemble, ces activités s'inscrivent dans le volet de la BGV du programme de conservation à l'intérieur de la baie de Fundy, dans la rivière Stewiacke. Ce programme de conservation vise principalement à assurer le maintien de la variation génétique au sein de la population sur de nombreux cycles de reproduction et d'élevage en captivité, tout en s'efforçant de minimiser, dans la mesure du possible, l'adaptation à la captivité et la perte cumulative de valeur adaptative en milieu sauvage. Les juvéniles issus des 100 croisements effectués chaque année qui ne sont pas gérés dans le cadre des régimes d'élevage en captivité ou d'exposition au milieu naturel décrits ci-dessus sont relâchés un peu partout dans la rivière aux fins d'ensemencement des juvéniles (voir la figure 2, sous la ligne rouge pointillée). De même, les adultes qui n'ont pas frayé dans le cadre du programme de BGV sont relâchés un peu partout dans la rivière Stewiacke aux fins d'ensemencement des adultes.

Les saumons de l'Atlantique de la rivière Stewiacke qui en sont à leur 5^{e} année de vie fraient présentement dans le cadre du programme de BGV; toutefois, une grande proportion (> 70 %) des individus élevés en captivité et exposés au milieu naturel arrivent à maturité à leur 4^{e} année. Ainsi, les saumons matures d'âge 4 fraient également, mais uniquement aux fins d'ensemencement, c'est-à-dire que leurs progénitures sont relâchées un peu partout dans le réseau hydrographique de la rivière Stewiacke, sauf dans l'affluent isolé (rivière Pembroke) susmentionné. L'ensemencement des juvéniles et des adultes vise à augmenter la taille de la population de juvéniles dans la rivière Stewiacke ainsi que le nombre d'adultes en montaison, lorsque les conditions en milieu marin s'amélioreront.

D'autres initiatives similaires en matière de BGV et d'ensemencement sont en cours pour les saumons des rivières Gaspereau et Big Salmon (figure 1), bien qu'il existe d'importantes différences entre les programmes de conservation propres aux rivières. Dans la rivière Big Salmon, un nombre semblable de croisements tenant compte de la généalogie sont effectués chaque année, alors qu'un nombre comparable de descendants sont élevés exclusivement en captivité (communément appelés « saumons élevés en captivité ») puis relâchés dans un affluent isolé avant d'être capturés sous forme de tacons d'âge 1 ou d'âge 2 (appelés dans le programme de BGV « tacons exposés au milieu naturel »). Dans la rivière Big Salmon, un piège rotatif installé près de l'embouchure de la rivière est utilisé chaque printemps, et plusieurs centaines de saumoneaux sont capturés puis remis en captivité aux fins d'élevage avec des tacons élevés en captivité et exposés au milieu naturel exclusivement (voir Jones *et al.* 2018). Une partie de ces saumoneaux est produite par des croisements de la BGV, que l'on appelle « saumoneaux exposés au milieu naturel », mais bon nombre d'entre eux sont produits « en rivière » (c.-à-d. dans l'habitat sauvage de la rivière Big Salmon) par plusieurs types de parents possibles, notamment : (a) des juvéniles de la BGV ayant été relâchés qui fraient au stade de tacons mâles matures; (b) des tacons matures produits lors de périodes de frai précédentes « en rivière »; (c) des adultes en montaison de la BGV (saumons relâchés au stade d'alevins qui ont ensuite migré en aval au stade de saumoneaux, pour revenir plus tard au stade d'adultes); (d) des adultes sauvages indigènes de la BGV en montaison; (e) des adultes errants sauvages produits dans d'autres rivières; et (f) des saumons d'élevage fugitifs au stade adulte provenant du fleuve Saint-Jean ou d'origine européenne. La disponibilité et l'utilisation (frai) de saumons capturés au stade de saumoneaux migrant vers l'aval présente quelques avantages potentiels, par exemple : (i) prolongation de la durée de l'exposition des saumons de la BGV aux conditions naturelles en rivière et à la sélection naturelle; (ii) intégration de gènes produits par des saumons de la BGV qui fraient librement dans le patrimoine génétique des saumons de la BGV dans la rivière Big Salmon; (iii) intégration de gènes ayant survécu aux conditions actuelles en milieu marin dans le patrimoine génétique des saumons de la BGV dans la rivière

Big Salmon; et (iv) intégration de nouveaux gènes fondateurs potentiels provenant de la rivière Big Salmon dans le patrimoine génétique des saumons de la BGV. Toutefois, en raison de cette importante source potentielle de saumons non contrôlés issus du programme (saumoneaux produits « en rivière » par des tacons mâles adultes de la BGV non génotypés ou des adultes en montaison) et d'autres caractéristiques uniques au programme de BGV (voir O'Reilly *et al.* 2018), les reproducteurs sont sélectionnés et appariés à l'aide d'un processus appelé « soutien à l'apparentement moyen » parmi le bassin d'individus de tous âges nés dans le cadre du programme de BGV. La collecte et le frai de saumoneaux produits « en rivière » exigeaient également la détermination de caractéristiques du programme différentes de celles qui décrivent la population de la rivière Stewiacke. Par exemple, les adultes non issus de frais de la rivière Big Salmon (soit élevés en captivité, exposés au milieu naturel ou produit en milieu naturel) sont relâchés dans d'autres rivières que la rivière Big Salmon du côté de la baie de Chignecto, à l'intérieur de la baie de Fundy, aux fins exclusives d'ensemencement des adultes. Cette pratique vise à minimiser les coupures ou les discontinuités dans l'ascendance des saumons de la rivière Big Salmon qui sont attribuables à la collecte et au frai de saumoneaux prélevés à l'embouchure de la rivière Big Salmon (voir O'Reilly *et al.* 2018 pour en savoir plus).

Le programme visant la population de la rivière Gaspereau est différent des programmes pour les rivières Stewiacke et Big Salmon qui sont décrits ci-dessus. Bien qu'un petit nombre de descendants de chaque famille soit conservé aux fins d'élevage en captivité exclusivement jusqu'à l'arrivée de la maturité (saumons élevés en captivité), un programme parallèle pour les tacons exposés au milieu naturel, comme celui décrit ci-dessus pour les populations des rivières Stewiacke et Big Salmon n'a pas été mis en œuvre. Autrement dit, les groupes d'alevins de chaque famille de taille similaire ne sont pas relâchés dans un affluent isolé de la rivière Gaspereau pour être recapturés plus tard au stade de tacons d'âge 1 ou d'âge 2 (bien que des efforts soient présentement déployés pour que cette activité ait également lieu dans la rivière Gaspereau). Au début de l'hiver (tout juste après que les œufs sont expulsés), le nombre d'œufs ayant survécu dans chaque croisement est estimé de façon volumétrique, et un nombre (aussi calculé de façon volumétrique) généralement similaire d'œufs de chaque famille sont mis de côté puis combinés pour être éventuellement relâchés au stade d'alevins vésiculés dans les affluents en amont du barrage de White Rock. Les œufs restants sont regroupés aux fins d'élevage quelques semaines après l'éclosion, puis seront ensuite relâchés dans affluents en aval du barrage de White Rock. Le nombre d'alevins de chaque famille destinés à être relâchés en amont du barrage de White Rock dépend de la capacité d'élevage estimée en amont du barrage et des efforts visant à minimiser, dans une certaine mesure, la variation de la taille des familles de ce sous-groupe de progénitures issues du programme (voir O'Reilly *et al.* 2018 pour en savoir plus). Un petit pourcentage des saumons relâchés en amont du barrage de White Rock sont capturés au stade de saumoneaux migrant vers l'aval à l'aide de pièges à saumoneaux situés dans les installations de contournement à la surface du barrage, puis sont transférés au centre de biodiversité de Coldbrook pour être élevés en captivité jusqu'à maturité (voir Jones *et al.* 2018). Ces individus ont vécu de deux à trois ans en milieu naturel; on les appelle « saumoneaux exposés au milieu naturel ». En raison du grand nombre d'alevins concernés, les lâchers en amont du barrage de White Rock ont deux objectifs principaux, soit l'ensemencement de la rivière et la création d'une banque de gènes. Les alevins relâchés en aval du barrage de White Rock ne seront pas échantillonnés ni recueillis plus tard pour être réintégrés dans le programme, car ils sont relâchés aux fins d'ensemencement uniquement. Les saumons génotypés de la rivière Gaspereau qui n'ont pas frayé dans le cadre du programme de BGV sont relâchés en amont du barrage de White Rock aux fins d'ensemencement des adultes, comme c'est le cas pour les saumons de la rivière Stewiacke. Par conséquent, les saumoneaux prélevés au barrage de White Rock incluent également les

saumons produits « en rivière », c'est-à-dire les descendants issus de frais imprévus entre parents génotypés et non génotypés (tacons mâles matures). En raison d'incertitudes vis-à-vis de l'ascendance et d'autres caractéristiques uniques aux saumons de la rivière Gaspereau (p. ex. taux de maturation plus lents à l'âge 4 et taux de maturation plus lents à l'âge 5 s'ils ont frayé à l'âge 4), les reproducteurs sont sélectionnés et appariés à l'aide d'un processus appelé « analyse de l'apparentement moyen » parmi le bassin d'individus de tous âges nés dans le cadre du programme de BGV (voir O'Reilly *et al.* 2018 pour en savoir plus). La collecte et le frai de saumoneaux produits « en rivière » et prélevés au barrage de White Rock ont également entraîné la détermination de caractéristiques du programme différentes de celles qui décrivent la population de la rivière Stewiacke. Par exemple, les adultes non génotypés sont relâchés dans d'autres rivières que la rivière Gaspereau du côté du bassin Minas, à l'intérieur de la baie de Fundy, aux fins exclusives d'ensemencement des adultes. Cette pratique vise à minimiser les coupures dans l'ascendance des saumons de la rivière Gaspereau qui sont attribuables à la collecte et au frai de saumoneaux prélevés au barrage (voir O'Reilly *et al.* 2018 pour en savoir plus).

Comme il est indiqué ci-dessus, l'ensemencement est un sous-produit du programme de BGV pour ces trois rivières principales. En 2016, 876 844 alevins vésiculés et 973 adultes ont été relâchés dans les rivières (253 371 alevins vésiculés et 795 adultes dans la Stewiacke, 219 075 alevins vésiculés et 178 adultes dans la Gaspereau et 404 398 alevins vésiculés dans la Big Salmon). Les saumons non ciblés et non prioritaires pour le volet reposant sur l'ascendance du programme de BGV sont relâchés dans l'affluent d'origine (soit la Stewiacke, la Gaspereau ou la Big Salmon) ainsi que dans les habitats vacants d'autres rivières de l'intérieur de la baie de Fundy non visées par le programme de BGV. En 2016, 374 280 alevins vésiculés et 409 adultes matures ont été relâchés du centre de biodiversité de Coldbrook dans les rivières non visées par le programme de BGV suivantes : Debert, Folly, Salmon (Colchester) et Sainte-Croix, tandis qu'au Nouveau-Brunswick, tous les saumons non ciblés ont été relâchés dans le réseau de la rivière Petitcodiac. Cette même année, le centre de biodiversité de Mactaquac a également relâché 50 000 alevins vésiculés et 355 adultes matures.

L'évaluation du potentiel de rétablissement a permis de prévoir que cette population disparaîtrait sans le soutien du programme de BGV. Le programme de BGV permet d'assurer le maintien des populations dans quelques rivières, mais la mortalité élevée en milieu marin continue de miner les efforts de rétablissement des populations sauvages autosuffisantes de saumon dans l'intérieur de la baie de Fundy.

ANALYSE

Résultats des analyses des indicateurs d'efficacité du programme

Les résultats présentés ci-dessous, obtenus lors d'évaluations des taux de modification génétique au fil du temps et d'évaluations des effets des divers régimes de gestion utilisés par le passé sur les taux de survie et croissance, se rapportent à la population de la rivière Stewiacke, la seule population repère pour laquelle il existe suffisamment de renseignements concernant la variabilité génétique et la valeur adaptative pour effectuer les analyses requises. Les programmes de gestion du stock de géniteurs pour les saumons des rivières Stewiacke, Big Salmon et Gaspereau étaient semblables (analyse de l'apparentement moyen) jusqu'en 2013.

Reconstruction du lien de parenté, consanguinité chez les ancêtres et date de mise en œuvre du programme de BGV à l'intérieur de la baie de Fundy.

Selon deux analyses indépendantes, le lien entre les saumons fondateurs de la rivière Stewiacke (génération zéro; G0) et les groupes de saumons étroitement apparentés devrait avoir été établi avec plus ou moins 90 % de précision. Quant à elle, la détermination de l'ascendance des individus G0 issus de grands groupes communs étroitement apparentés devrait être encore plus précise que celle des individus issus de petits groupes étroitement apparentés. La plupart des individus G0 ont été répartis dans de grands groupes étroitement apparentés. Plus de la moitié des individus répartis par erreur dans les petits groupes étroitement apparentés appartenaient à d'autres petits groupes communs étroitement apparentés plutôt qu'à d'autres groupes étroitement apparentés de moyenne ou de grande taille. Compte tenu de la nature de la majorité des affectations incorrectes, on ne s'attend pas à ce que de nombreuses erreurs fassent considérablement augmenter le degré de consanguinité observé au sein de la prochaine génération ni qu'elles fassent en sorte que bon nombre d'individus adaptés sur le plan génétique ne soient pas inclus dans la BGV à titre de fondateurs. Cependant, certaines erreurs éventuelles pourraient avoir une incidence sur l'estimation de l'apparentement moyen et l'efficacité des méthodes relatives à l'apparentement moyen dans la réduction des taux de perte de variation génétique au fil du temps.

La collecte initiale de 1 029 saumons G0 de la rivière Stewiacke (soit le groupe de tacons capturés dans la nature entre 1998 et 2001, incluant les premiers fondateurs) a démontré un niveau très élevé de structuration familiale (figure 3); en effet, plus de la moitié des individus observés faisaient partie des 10 premiers groupes étroitement apparentés en importance. Le plus grand groupe de saumons étroitement apparentés contenait 117 individus, soit plus de 10 % de la collecte en entier. Une diminution considérable de la diversité familiale et génétique a été observée chez les tacons sauvages de la rivière Stewiacke qui ont été prélevés de 1998 à 2001; durant les dernières années, il a été observé que les tacons avaient produit très peu de groupes étroitement apparentés supplémentaires comparativement aux années précédentes. Compte tenu (1) de la tendance à la hausse de la diversité familiale observée chez les échantillons prélevés durant les premières années comparativement aux dernières années; (2) de la diminution anticipée du taux de chevauchement familial des échantillons prélevés durant les premières années comparativement aux dernières années (voir O'Reilly *et al.* 2018); et (3) des données démographiques sur la population recueillies durant les deux décennies précédant l'année 1998 (voir la figure 4), le taux de diversité familiale aurait probablement été bien plus élevé si les quatre collectes de tacons sauvages dans la rivière Stewiacke avaient été effectuées deux ans auparavant (soit de 1996 à 1999 plutôt que de 1998 à 2001).

On ne s'attend pas à ce que le degré de consanguinité cumulative ancestrale observé chez les saumons G0 de la rivière Stewiacke soit très élevé en raison de la période à laquelle un important goulot d'étranglement pour la population a été constaté (1995-1999); en effet, la majorité des cas de consanguinité associés à ce goulot d'étranglement devraient être retardés de plusieurs générations.

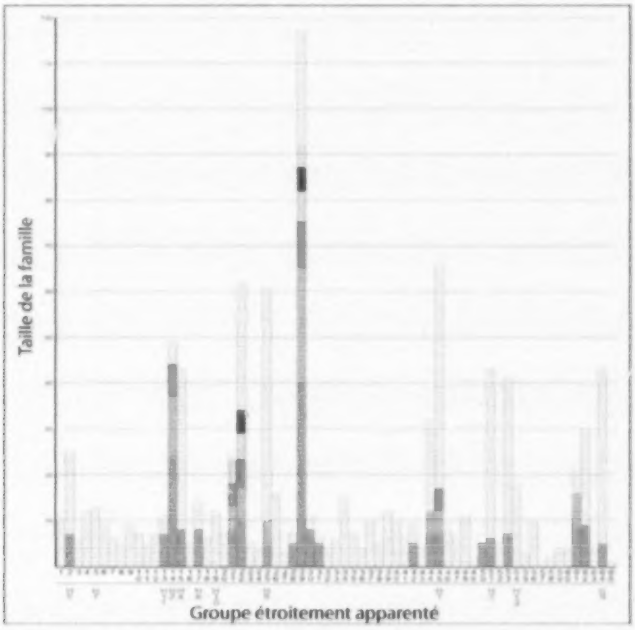


Figure 3. Répartition des 1 029 tacons sauvages génotypés prélevés de 1998 à 2001 dans 65 groupes de saumons étroitement apparentés à l'aide de méthodes de reconstruction du lien de la filiation. La taille des familles figure sur l'axe des ordonnées alors que l'identifiant du sous-groupe de saumons étroitement apparentés (en caractères noirs) figure sur l'axe des abscisses. Chaque carré représente un individu. Les grands groupes pleinement apparentés (composés d'au moins cinq individus) intégrés aux groupes étroitement apparentés sont indiqués par une ligne droite continue de couleur bleue ou grise. Les carrés jaunes indiquent les individus qui appartiennent à de petits groupes pleinement apparentés incertains, c'est-à-dire qu'ils sont composés d'un à quatre individus apparentés ou non. Sous chaque flèche se trouve l'identifiant (en caractères rouges) attribué au groupe de parents correspondant dans Herbinger et al. (2006).

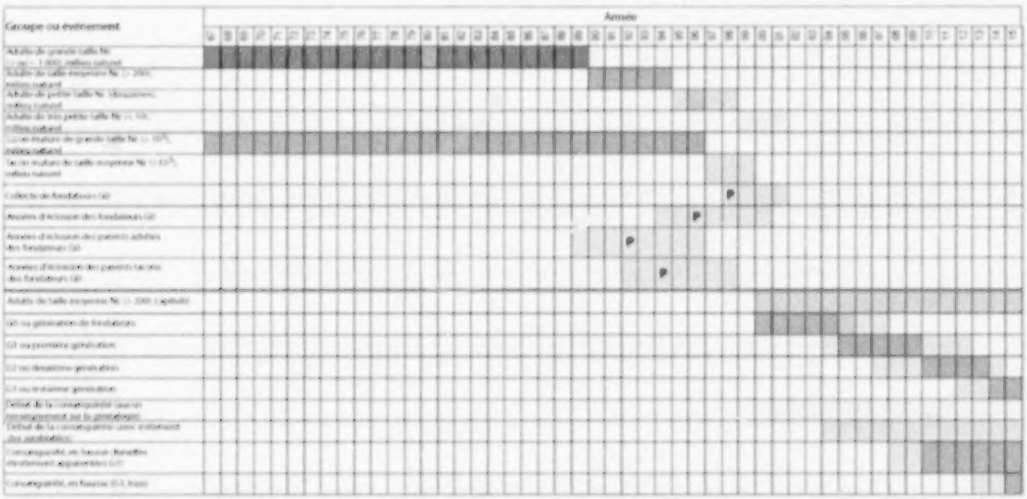


Figure 4. Période durant laquelle l'effectif des populations de tacons adultes et matures de la rivière Stewiacke (Nc adultes) est demeuré à un niveau donné, années de collecte et production « en rivière » de fondateurs G0 et période de consanguinité anticipée découlant du goulot d'étranglement et de la structuration familiale de la population observée. P indique la première année (1998) où la majeure partie des fondateurs sauvages (env. 40 %) a été prélevée, l'année d'éclosion où la plupart des fondateurs ont été produits (1996) et les années où leurs parents, soit au stade d'adultes (1992) ou de tacons mâles matures (1994) ont probablement été produits. La ligne double sépare les phases de reproduction en milieu sauvage et en captivité de la population de la rivière Stewiacke de l'intérieur de la baie de Fundy. Les estimations des valeurs Nc adultes sont tirées de Gibson et Amiron (2003, tableau 6).

Estimations basées sur l'ascendance de la contribution des parents fondateurs G1 à la génération G2

Le nombre de reproducteurs de la BGV de la rivière Stewiacke nés entre 2010 et 2014 qui descendaient de parents fondateurs G1 (parents présumés des tacons sauvages G0 prélevés qui ont frayé dans le cadre du programme de BGV) était très irrégulier (figure 5). La cause la plus flagrante de la majeure partie de cette variabilité était la grande différence entre les nombres de descendants produits par les parents fondateurs G1 étroitement apparentés (barres rouges) comparativement aux pleinement apparentés (barres bleues). En effet, les parents fondateurs G1 étroitement apparentés ont produit en moyenne 55,6 descendants contre 11,1 descendants pour les parents fondateurs G1 pleinement apparentés. Au total, 11 parents fondateurs G1 étroitement apparentés ont produit au moins 100 descendants et 18 autres ont produit entre 50 et 100 descendants, ce qui est largement supérieur à la grande majorité des parents fondateurs G1 pleinement apparentés, qui ont produit moins de 25 descendants. Les tendances de la contribution génétique des parents fondateurs G1 étaient comparables à celles observées pour les descendants des parents fondateurs; dans l'ensemble, les niveaux étaient très élevés pour quelques parents fondateurs G1 étroitement apparentés, surtout en comparaison avec la quasi-totalité des parents fondateurs G1 pleinement apparentés (figure 6). Bien que le taux de rétention des parents fondateurs G1 ait augmenté en parallèle avec le nombre de descendants et de contributions, les nombres ont stagné avant d'atteindre 1,0. En outre, les contributions supplémentaires des parents fondateurs n'ont pas fait augmenter le taux de rétention des allèles de manière considérable pour les individus G1 étroitement apparentés, étant donné que les valeurs obtenues étaient près du maximum possible (figure 7). En revanche, la rétention des allèles était nettement inférieure à 1,0 pour la plupart des parents G1

pleinement apparentés et une partie des parents G1 étroitement apparentés. La surreprésentation des génomes de quelques parents G1 étroitement apparentés chez des saumons de première et de deuxième générations a limité la rétention des gènes provenant des parents G1 pleinement apparentés et de quelques parents G1 étroitement apparentés. Si les saumons G0 avaient été prélevés deux ans plus tôt, lorsque les groupes fondateurs étaient sans doute composés de nombreuses petites familles étroitement apparentées et de seulement quelques familles pleinement apparentées (comme cela a été observé au sein d'autres populations importantes de saumon de l'Atlantique dans des rivières à proximité), les contributions des fondateurs G1 aux générations futures auraient été bien plus équilibrées. On croit qu'un meilleur équilibre des contributions aurait fait augmenter le taux de conservation de la variation génétique des parents fondateurs G1 à l'échelle de la population. Autrement dit, la grande variabilité de la contribution génétique des saumons G1 Stewiacke (parents des fondateurs G0) aux générations futures a entraîné une hausse des taux de perte de variation génétique des parents fondateurs G1 au fil du temps (p. ex. les allèles parents fondateurs et les équivalents génomiques parents fondateurs). D'après les données démographiques sur la population recueillies entre 1975 et 2000 et les tendances en matière de diversité familiale observées dans les échantillons prélevés entre 1998 et 2001, le degré de variation génétique chez les populations actuelles de la BGV de la rivière Stewiacke pourrait avoir été nettement supérieur si les collectes de fondateurs d'origine avaient été effectuées deux ans plus tôt.

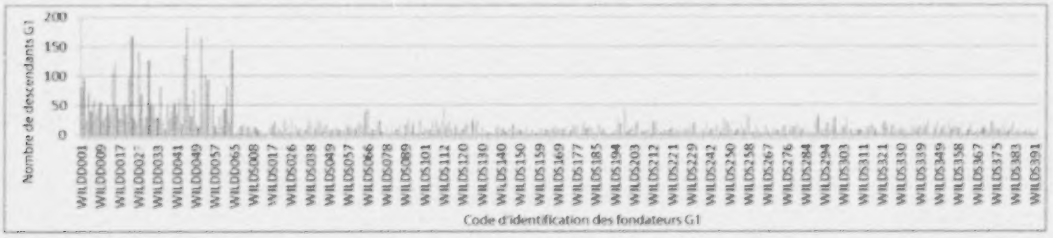


Figure 5. Nombre de descendants G2 dans la rivière Stewiacke issus de femelles G1 étroitement apparentées (barres rouges) et de mâles G1 pleinement apparentés (barres bleues).

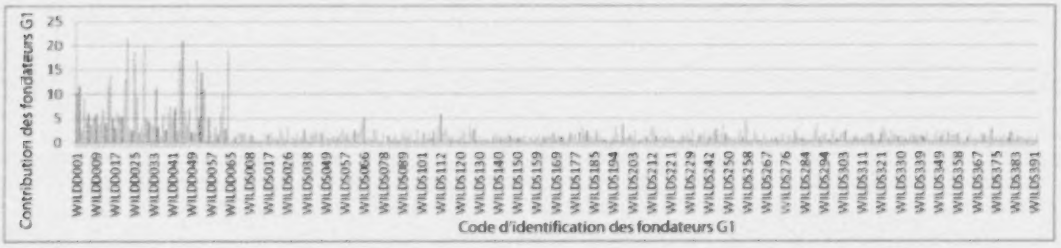


Figure 6. Contribution des parents fondateurs G1 étroitement apparentés (barres rouges) et pleinement apparentés (barres bleues) à la génération G2 de reproducteurs de la rivière Stewiacke.

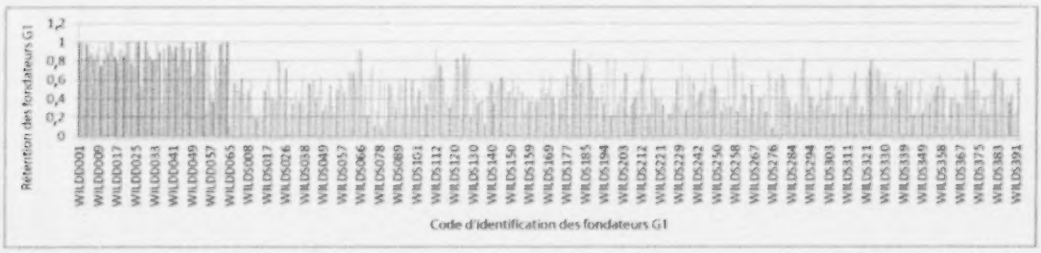


Figure 7. Rétention des allèles parents fondateurs G1 étroitement apparentés (barres rouges) et pleinement apparentés (barres bleues) au sein de la génération G2 de reproducteurs de la rivière Stewiacke.

Consanguinité généalogique observée chez les descendants nés entre 2000 et 2015

La consanguinité généalogique moyenne (parmi les croisements) des descendants de saumons dans la rivière Stewiacke qui sont nés au début du programme (2001-2003) était modérément élevée (F ~ 0,003 à 0,005), figure 8, barres bleues). L'analyse des valeurs de consanguinité pour chaque famille démontre que cette consanguinité précoce résulte d'un niveau très élevé de consanguinité (F = 0,125) observé chez quelques croisements (3 à 5 par année), indiquant ainsi la présence d'un ancêtre direct unique (parent immédiat) commun aux géniteurs mâles et femelles de ces familles. Bien que des efforts aient été déployés pour éviter les croisements entre individus pleinement apparentés et étroitement apparentés, il se pourrait que des croisements occasionnels involontaires soient survenus entre parents immédiats, soit en raison de la dissémination de laitance entre les frais ou d'une modification des liens de parenté due à la prolongation du programme et à l'augmentation cumulative de la taille des échantillons de familles (O'Reilly *et al.* 2018). L'énorme taille de certains groupes fondateurs étroitement apparentés (G0) accroît la probabilité que des parents mâles et femelles issus de croisements imprévus ou incorrects aient un parent commun étroitement apparenté de la première génération (G1). En général, la consanguinité moyenne était plus faible (F ~ 0,001 à 0,002) entre 2004 et 2009, lorsque la taille des deux familles était plus petite et que l'évitement des frères et sœurs reposait principalement sur l'ascendance plutôt que le lien de parenté. Cependant, la consanguinité moyenne observée chez les familles ou les descendants a augmenté au cours des années suivantes, particulièrement à compter de 2010, à raison de F ~ 0,004, et est demeurée légèrement élevée jusqu'en 2013. Cette augmentation des niveaux moyens de consanguinité coïncide avec une hausse marquée de la proportion des croisements individuels (familles) affichant des niveaux de consanguinité supérieurs à 0 (cette proportion est passée d'environ 10 % ou moins en 2009 et années antérieures à environ 30 à 50 % entre 2010 et 2013). Dans plus de 90 % des cas, incluant l'année 2015, qui comprend principalement des saumons de la troisième génération, les ancêtres communs aux géniteurs mâles et femelles des croisements ci-dessus étaient des individus G1, et la quasi-totalité d'entre eux étaient des femelles putatives étroitement apparentées qui ont produit de grands groupes étroitement apparentés G0. Autrement dit, la grande variabilité de la contribution génétique des saumons G1 Stewiacke (parents des fondateurs G0) aux générations futures a entraîné un degré de consanguinité des descendants de saumons G2 et G3 plus élevé que prévu. D'après les données démographiques sur la population recueillies entre 1975 et 2000 et les tendances en matière de diversité familiale observées dans les échantillons prélevés entre 1998 et 2001, le degré de consanguinité pourrait avoir été inférieur à celui observé aujourd'hui si les collectes de fondateurs d'origine avaient été effectuées deux ans plus tôt. Cela n'aurait toutefois pas empêché l'augmentation de la consanguinité chez les générations futures. L'introgression de saumons provenant des rivières Economy, Great Village et Debert dans la banque de gènes

vivants (BGV) de la rivière Stewiacke a entraîné une légère diminution de l'augmentation de la consanguinité (figure 8, barres noires); toutefois, elle pourrait causer l'effet contraire dans le futur et doit donc être surveillée.

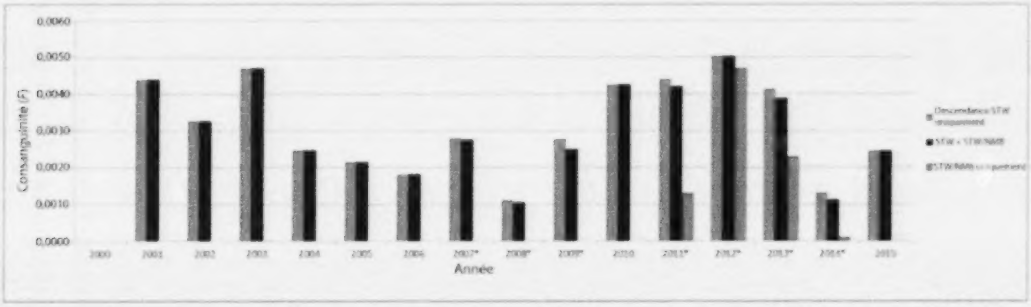


Figure 8. Consanguinité généalogique moyenne (parmi les croisements) des descendants de (1) familles dont les ancêtres sont issus de la rivière Stewiacke [barres bleues], de (2) familles hybrides (Stewiacke x nord du bassin Minas), Stewiacke x Stewiacke/nord du bassin Minas ou Stewiacke/nord du bassin Minas x Stewiacke/nord du bassin Minas (barres rouges) ou de (3) familles hybrides et dont les ancêtres sont issus de la rivière Stewiacke (barres noires), années 2000 à 2015. Remarque : Les astérisques désignent les années où les familles hybrides ont été produites; comme le degré de consanguinité des familles hybrides produites en 2007, en 2008 et en 2009 était de 0, les valeurs pour cette classe n'apparaissent pas au-dessus de l'axe des abscisses.

Taux de perte de la variation génétique observés chez le saumon de la rivière Stewiacke au fil du temps

Au cours des premières années, soit de 2000 à 2003, la diversité génétique du parent fondateur était d'environ 0,9910 à 0,9915. De 2004 à 2006, cette proportion semble avoir atteint les niveaux les plus élevés observés durant l'étude, à environ 0,9940 (probablement en raison du mélange d'ensembles de familles qui ne se chevauchent pas dans les échantillons prélevés entre 1998 et 2001), avant de diminuer progressivement d'année en année, pour atteindre 0,9920 à la fin de l'étude. Toutefois, lorsque ces données sont compilées par génération, cette diminution progressive n'était pas évidente, car tous les saumons G0 à G2 affichaient un taux de diversité génétique d'environ 0,9950. À l'origine, le nombre d'équivalents génomiques fondateurs (EGF) parents, ou le nombre de parents fondateurs qui afficherait le même taux de diversité génétique que celui observé au sein de la population actuelle, était plutôt modeste (environ 55 à 60) au cours des années 2000 à 2003. Il a toutefois augmenté par la suite, de 2004 à 2009, pour atteindre entre 75 et 85, avant de diminuer progressivement jusqu'au niveau enregistré dans les années 1960 à la fin de la période d'étude. Cependant, lorsqu'il était calculé en fonction de la génération, le nombre d'EGF était légèrement plus élevé (env. 100) et ne semblait pas diminuer par rapport aux saumons G0 à G2 s'étant reproduits.

Le nombre d'allèles fondateurs parents conservés variait considérablement d'une année à l'autre. De 2000 à 2003, les valeurs se situaient entre 260 en 2002 et plus de 300 en 2000. La valeur annuelle la plus élevée a été enregistrée en 2004 (près de 380). En général, les niveaux observés au cours de chacune des années suivantes étaient inférieurs à ceux de l'année précédente jusqu'en 2014, où le nombre d'allèles fondateurs était d'environ 175, soit moins de la moitié du nombre relevé dix ans auparavant. Lorsque ces données étaient plus ou moins compilées par génération, le nombre d'allèles fondateurs était nettement supérieur; il a toutefois diminué au fil du temps, de plus de 600 pour les G0 à tout juste plus de 400 pour les G2.

La variation génétique moléculaire attendue a augmenté au cours des cinq premières années, puis a diminué légèrement d'année en année par la suite, mais elle est demeurée relativement stable tout au long de la période visée par l'évaluation (2000 à 2015). En général, la variation génétique moléculaire observée semblait avoir légèrement augmenté entre 2000 et 2013, mais elle pourrait avoir modérément diminué par la suite (figure 9). La période de diminution coïncide avec une augmentation marquée de la coexistence des ancêtres communs étroitement apparentés G1 chez les paires de saumons qui se sont reproduits en 2010 et en 2011 (entre les ensembles de parents ayant produit les saumons nés en 2014 et en 2015 qui présentent une diminution possible de l'hétérozygotie observée). Autrement dit, la diminution de l'hétérozygotie observée pourrait être en partie attribuable à l'augmentation de la consanguinité découlant du goulot d'étranglement initial, qui est censé se produire à ce moment. Le nombre d'allèles marqueurs génétiques moléculaires observés (autre mesure du degré de variation génétique, à ne pas confondre avec le nombre d'allèles fondateurs parents G1 mentionné ci-dessus) a légèrement diminué de 2000 à 2015 (figure 10); la quasi-totalité des allèles perdus étaient soit des variantes européennes courtes putatives éliminées directement ou indirectement par sélection naturelle, soit des allèles initialement présents à de très basses fréquences (en général, environ 1 allèle fondateur sur 2 000 analysés). Dans l'ensemble, le taux de perte de variation génétique moléculaire entre les saumons G0 Stewiacke (fondateurs) et les saumons de deuxième génération (G2) était faible, bien qu'une certaine diminution ait été observée.

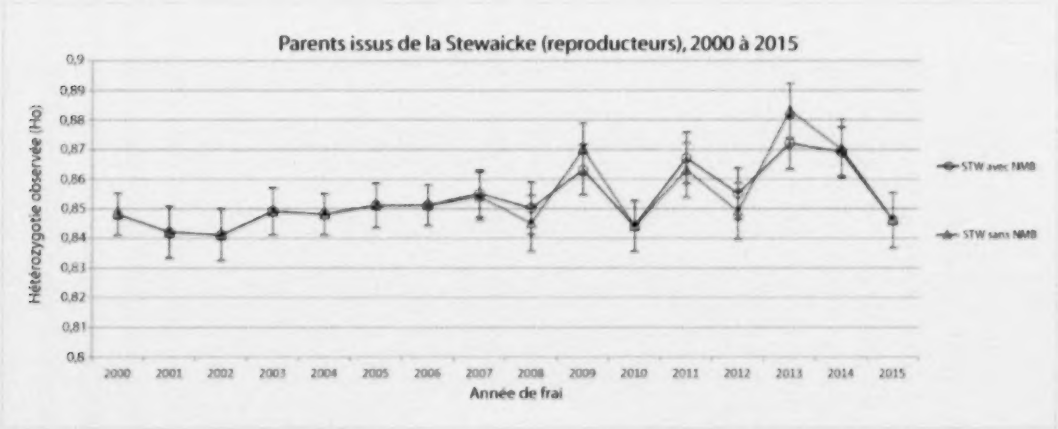


Figure 9. Hétérozygotie observée (Ho) chez les parents de la BGV de la rivière Stewiacke (reproducteurs) pour chacune des années de 2000 à 2015, avec et sans fondateurs du nord du bassin Minas non issus de la rivière Stewiacke et leurs ancêtres. Les écarts-types sont également indiqués. Les résultats s'appuient sur huit loci microsatellites.

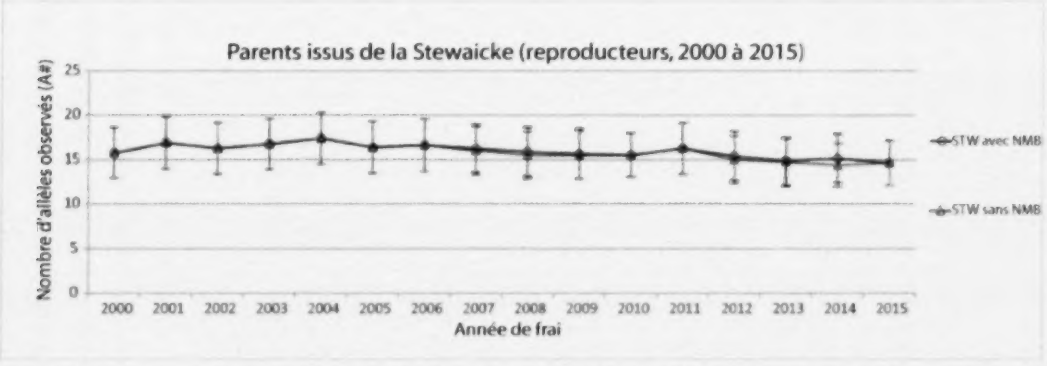


Figure 10. Nombre d'allèles (A#) chez les parents de la BGV de la rivière Stewiacke (reproducteurs) pour chacune des années de 2000 à 2015, avec et sans fondateurs du nord du bassin Minas non issus de la rivière Stewiacke et leurs ancêtres. Les écarts-types sont également indiqués. Les résultats s'appuient sur huit loci microsatellites.

Changements causés par le courant de dérive observés dans l'ensemble des répartitions des fréquences des allèles au fil du temps

Bien souvent, les répartitions des fréquences des allèles de grands groupes de saumon de l'Atlantique dans la rivière Stewiacke qui ont frayé au début du programme (2000 à 2003) étaient largement différentes des répartitions des fréquences des allèles de grands groupes similaires de saumon qui ont frayé durant les dernières années de l'étude (2012-2015). En outre, les estimations de différentiation par paire (FST) entre ces deux groupes de reproducteurs étaient de 0,002 en moyenne et pouvaient atteindre 0,004. Toutefois, les différences entre ces groupes sont principalement attribuables aux différentes compositions familiales des échantillons de tacons sauvages prélevés chaque année de 1998 à 2001, aux répartitions variables des quatre sous-groupes des groupes de saumon qui ont frayé de 2000 à 2003 et à l'homogénéisation de la population (en ce qui concerne les lignées familiales d'origine) au sein des groupes ultérieurs de saumon qui ont frayé. Autrement dit, les changements causés par le courant de dérive observés dans l'ensemble des répartitions des fréquences des allèles entre les saumons G0 et G2 de la rivière Stewiacke étaient très minimes (FST ~ 0,001 ou moins). Si l'on tient compte des différences entre les années observées chez les collectes de fondateurs, on ne constate aucune différence importante entre les groupes de reproducteurs annuels pendant toute la durée du programme.

Nombre réel de reproducteurs, taille effective de la population et taux anticipés de perte de variation génétique

En général, le nombre réel de reproducteurs liés aux descendants de la rivière Stewiacke produits durant une année donnée était relativement élevé, variant de 200 à près de 400. D'après les tableaux illustrant le succès de reproduction à vie des individus, la taille effective de la population (Ne) était souvent inférieure, variant de 100 à 300, et augmentait au cours des dernières années. La taille effective de la population par génération était nettement supérieure (au-dessus de 500) et augmentait également au cours des dernières années.

Compte tenu des données démographiques sur la population de saumon de l'Atlantique dans la rivière Stewiacke recueillies ces dernières années ainsi que du caractère distinct et de l'absence de chevauchement de la population de la rivière Stewiacke à compter de 2013 (voir O'Reilly *et al.* 2018), les sous-populations exposées au milieu naturel, gérées selon les recommandations, devraient conserver plus de 95 % de la diversité génétique sur

20 générations de saumons. Le taux de diversité génétique évalué à l'échelle de la population sera encore plus élevé. Le degré de consanguinité de ces cinq sous-populations devrait augmenter pour atteindre F = 0,03 à 0,04 sur 20 générations de saumon; toutefois, cette valeur peut être réduite en permettant à l'avenir un flux génétique continu limité entre les classes d'âge.

Si les protocoles d'accouplement et d'apparentement moyen classé sont respectés à l'avenir, les taux de perte de diversité génétique et le degré de consanguinité devraient être encore plus bas que les valeurs indiquées ci-dessus, qui reposent uniquement sur la taille effective de la population.

Variation de la taille des familles et nombre réel de reproducteurs observés chez les groupes de descendants non sélectionnés élevés en captivité par rapport à ceux exposés au milieu naturel pour les années de frai 2002 à 2010

Il existe deux types de groupes de descendants dans le cadre du programme de BGV à l'intérieur de la baie de Fundy, dans la rivière Stewiacke, soit (1) ceux élevés exclusivement en captivité (élevés en captivité) et (2) ceux d'abord élevés en captivité, relâchés ensuite dans la nature pendant un à deux ans d'exposition aux conditions indigènes en rivière et à la sélection naturelle, puis recapturés pour être élevés de nouveau en captivité et se reproduire (exposés au milieu naturel). La variation de la taille des familles, le nombre réel de reproducteurs dans la génération parentale et les taux anticipés de perte de variation génétique (en supposant que la population est exempte de chevauchement et que sa taille est constante) ont été estimés pour plusieurs années d'éclosion en fonction de ces deux types de groupes de descendants. La variation de la taille des familles était généralement plus faible pour les groupes élevés en captivité que pour les groupes exposés au milieu sauvage pour une année d'éclosion donnée. Toutes choses étant égales par ailleurs, les taux de perte de variation génétique pour la quasi-totalité des comparaisons par année d'éclosion seraient plus élevés pour les groupes comparables de descendants exposés au milieu naturel. Cependant, à compter de 2006, année où d'importants changements ont été apportés à la gestion des groupes de descendants exposés au milieu naturel, (p. ex. égalisation et remise à l'eau dans la rivière Pembroke), on a constaté une diminution nette des différences dans l'ampleur de la variation de la taille des familles entre les groupes de descendants élevés en captivité et ceux exposés au milieu naturel, dans toute comparaison par année d'éclosion. Les taux anticipés de perte de variation génétique en vertu d'un régime de gestion concernant uniquement des descendants exposés au milieu naturel ne seraient que légèrement plus élevés par rapport à ceux anticipés en vertu d'un régime de gestion concernant uniquement des saumons élevés en captivité et d'un régime concernant à la fois descendants élevés en captivité et des descendants exposés au milieu naturel. Toutefois, le nombre réel estimé d'individus reproducteurs dans la rivière Stewiacke (qui, à compter de 2013 équivaudrait à la taille effective de la population) dans le cadre du régime de gestion des descendants exposés au milieu naturel est probablement suffisamment élevé pour que les taux de perte de variation génétique causée par une possible dérive génétique aléatoire et le degré de consanguinité demeurent relativement bas.

Taille effective de la population, diversité génétique et degré de consanguinité anticipés après 20 générations en vertu de différents régimes de gestion concernant le saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy

Il existe divers moyens possibles pour maintenir une taille effective de la population importante et atteindre les objectifs du programme (O'Reilly *et al.* 2018). Chacun de ces moyens comporte différents niveaux d'utilisation de trois principales ressources, soit la capacité de génotypage (permettant l'attribution généalogique des individus), l'espace alloué à l'écloserie et la capacité

en ressources humaines (toute l'année en ce qui concerne la taille de la population adulte recensée et de manière intensive au printemps et à l'automne en ce qui concerne les opérations sur le terrain requises pour la remise à l'eau et la deuxième capture de descendants exposés au milieu naturel). Après la prise en compte des renseignements sur la généalogie, les valeurs réelles de variation de la taille des familles pour les groupes élevés en captivité, exposés au milieu naturel et à la fois élevés en captivité et exposés au milieu naturel ont été utilisées pour estimer la valeur N_e, la diversité génétique et le degré de consanguinité (F) aux générations G01, G10 et G20 selon différents scénarios de gestion (en supposant que les populations étaient distinctes et ne se chevauchaient pas, comme c'est le cas pour la BGV de la rivière Stewiacke à compter de 2013).

Pour atteindre l'objectif visant à conserver 95 % de diversité génétique après vingt générations, il faut, par exemple (1) s'assurer que la taille de la population adulte recensée est maintenue à 150 (effectuant 75 frais appariés), élever des juvéniles en captivité et en milieu naturel et utiliser les renseignements sur les génotypes pour minimiser la variation de la taille des familles en période de frai; (2) augmenter la taille de la population adulte recensée à 250 (effectuant 125 frais appariés) et élever des juvéniles exclusivement en captivité, sans renseignements sur la généalogie; ou (3) augmenter la taille de la population adulte recensée à 300 (effectuant 150 frais appariés) et élever des juvéniles en milieu naturel, sans renseignements sur la généalogie (mais après avoir égalisé la taille des familles). Il est à noter que pour augmenter la taille de la population adulte recensée, il faut effectuer plus de croisements, élever et gérer plus de lots d'œufs et élever plus de descendants jusqu'à la remise à l'eau et à la période de frai. La meilleure stratégie choisie par la gestion, en tenant seulement compte du maintien de la variation génétique, dépendrait de la disponibilité des diverses ressources, y compris l'espace alloué à l'écloserie, la capacité en ressources humaines et la capacité de génotypage. Il faut toutefois faire preuve de prudence, car ces résultats sont basés sur les estimations de la variation de la taille des familles effectuées de 2002 à 2010. Les intensités de sélection élevées dans les années à venir, que ce soit en écloserie ou en milieux naturels, ainsi qu'un taux aléatoire élevé de mortalité propre aux familles pour quelques claies/paniers à œufs pourraient faire augmenter considérablement la taille des familles durant certaines années par rapport aux premières années des estimations. La variation de la taille des familles, valeur N_e, et les taux anticipés de perte de variation génétique, devront être surveillés. Autrement dit, il est recommandé d'effectuer le génotypage d'une partie raisonnable de parents et de leurs descendants pour certaines années.

Efficacité anticipée de différents régimes de sélection de fondateurs pour minimiser la perte de variation génétique et le degré de consanguinité dans les populations de saumon de l'Atlantique assujetties à un goulot d'étranglement

Compte tenu de l'accélération du déclin de l'abondance du saumon de l'Atlantique dans les unités désignables environnantes des Maritimes et de la nécessité éventuelle d'instaurer des programmes similaires de reproduction et d'élevage en captivité dans le futur, on s'est penché sur l'efficacité anticipée de différents régimes de sélection de fondateurs dans la réduction des taux de perte de variation génétique. D'abord, des analyses basées sur la modélisation ont été réalisées pour mettre à l'essai les cinq procédés de sélection des sous-groupes de fondateurs de taille variable (entre 50 et 150 individus) issus d'une importante collecte d'environ 1 000 tacons sauvages de l'intérieur de la baie de Fundy, qui ont été prélevés de 1998 à 2001. Ces cinq procédés sont la minimisation de l'apparentement moyen, le soutien à l'apparentement moyen, l'apparentement moyen classé, la minimisation du degré de parenté par paire et la sélection et l'appariement aléatoires. De manière générale (lorsque 50, 100 ou 150 fondateurs sont sélectionnés), le procédé de minimisation du degré de parenté par paire

entraînait la plus grande variation génétique moléculaire de tous les procédés, mais cela est probablement dû au rôle que les données sur les marqueurs utilisées ont eu sur la sélection des fondateurs et les calculs du degré de diversité moléculaire dans les sous-groupes sélectionnés. De plus, la diversité familiale entre les groupes étroitement apparentés et pleinement apparentés était la plus faible lorsqu'on avait recours au procédé de minimisation du degré de parenté par paire. Ainsi, celui-ci n'est pas recommandé. En revanche, lorsque le procédé de minimisation de l'apparentement moyen était utilisé, le degré de diversité génétique moléculaire figurait au deuxième rang le plus élevé chez les groupes de 50 et de 100 fondateurs. Cependant, l'apparentement moyen classé arrivait au premier rang lorsque le nombre de fondateurs était augmenté à 150. En général, le degré de diversité familiale des groupes pleinement apparentés et étroitement apparentés était le plus élevé lorsque les procédés de soutien à l'apparentement moyen et d'apparentement moyen classé étaient utilisés, indépendamment de la taille du groupe fondateur sélectionné. Dans l'ensemble, ces résultats démontrent que la diversité génétique peut être à son niveau le plus élevé, du moins au début, dans les groupes fondateurs issus d'importantes collectes de saumons G0 à l'aide du procédé d'apparentement moyen classé.

D'autres analyses de modélisation ont été effectuées à l'aide du programme PMx (Lacy *et al.* 2012) pour évaluer l'efficacité de six régimes de sélection de fondateurs dans la réduction des taux anticipés de perte de variation génétique (et du degré de consanguinité) sur dix générations de reproduction et d'élevage en captivité. Ces régimes sont les suivants : régime maximum d'équitabilité des fondateurs étroitement apparentés G1; régime maximum de représentativité des fondateurs pleinement apparentés G1; régime intermédiaire de sélection des fondateurs 1; régime intermédiaire de sélection des fondateurs 2; apparentement moyen classé 1; et apparentement moyen classé 2. Ces analyses étaient basées sur le groupe initial de 401 tacons prélevés dans la rivière Stewiacke en 1998, et une famille étroitement apparentée simulée, composée de dix individus, a été incluse en vue de faciliter les analyses. Ni le régime maximum d'équitabilité des fondateurs étroitement apparentés G1 ni le régime maximum de représentativité des fondateurs pleinement apparentés G1 ne devraient entraîner le plus bas taux de perte de variation génétique (ou degré de consanguinité) sur dix générations futures de reproduction et d'élevage en captivité. Dans l'ensemble, un régime de sélection de reproducteurs utilisant l'apparentement moyen classé 2 pour identifier un sous-groupe de saumons G0 en tant que fondateurs a entraîné les taux les plus bas de perte de diversité génétique, le nombre le plus bas d'allèles fondateurs et le degré le plus faible de consanguinité au fil du temps, quoique les résultats dépendaient quelque peu du nombre de fondateurs sélectionnés à partir du grand groupe G0.

Introgression de gènes non indigènes (de l'extérieur de la baie de Fundy) dans le patrimoine génétique de la banque de gènes vivants de la rivière Big Salmon

On pourrait s'attendre à une hausse de l'introgression de gènes non locaux dans le patrimoine génétique de la rivière Big Salmon au fil du temps si l'on tient compte (1) des données démographiques sur la population de saumon dans le fleuve Saint-Jean et l'intérieur de la baie de Fundy des dernières années; (2) des proportions variables anticipées d'adultes errants de première génération du fleuve Saint-Jean par rapport aux adultes indigènes de la BGV en montaison au fil du temps; et (3) de la collecte et de l'utilisation de saumoneaux produits « en rivière » dans le cadre du programme de BGV dans la rivière Big Salmon.

La structuration génétique entre le saumon de l'extérieur de la baie de Fundy et le saumon de la rivière Big Salmon semble diminuer au fil du temps. Les résultats de plusieurs analyses génétiques de la population concordent tous avec le flux génétique continu et important de sources non locales (possiblement l'extérieur de la baie de Fundy) dans le patrimoine génétique

de la rivière Big Salmon, et cela pourrait représenter un risque pour la conservation des caractéristiques génétiques de l'intérieur de la baie de Fundy au sein de la population de la BGV dans la rivière Big Salmon.

D'après les données tirées de plusieurs marqueurs d'ADN nucléaire et mitochondrial, une ascendance de saumons d'élevage européens a été décelée, avec un haut degré de certitude, dans les saumons capturés dans la rivière Upper Salmon. Les données tirées de plusieurs marqueurs d'ADN démontrent que l'ascendance de saumons d'élevage européens a également été décelée, avec un haut degré de certitude, dans d'autres rivières de l'intérieur de la baie de Fundy (Big Salmon, Gaspereau et Stewiacke). Des analyses supplémentaires concernant plusieurs marqueurs démontrent que le saumon d'élevage européen (y compris probablement le saumon entièrement européen) semble s'être reproduit avec succès dans plusieurs rivières de l'intérieur de la baie de Fundy (Upper Salmon, Big Salmon, Gaspereau et Stewiacke) et, dans de nombreux cas, semble avoir frayé avec le saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy, une espèce menacée.

Si les variantes courtes *Ssa*202 de type européen seules indiquent la présence d'une ascendance de saumons d'élevage européens (O'Reilly *et al.* 2018), la portée spatiale et temporelle de l'influence des saumons d'élevage européens fugitifs dans l'intérieur de la baie de Fundy pourrait être encore bien plus grande que l'on croit. La fréquence de détection d'allèles courts *Ssa*202 de type européen dans les échantillons de saumon de l'Atlantique (principalement des juvéniles) prélevés dans les rivières de la région de la baie de Fundy a augmenté considérablement de 1998 à 2000, quelques années seulement après l'introduction du matériel génétique du saumon d'élevage européen au Maine et tout juste après la hausse anticipée de la prévalence de l'ascendance européenne chez les saumons élevés dans des parcs en filet dans la région de la baie de Fundy et du golfe du Maine (figure 11).

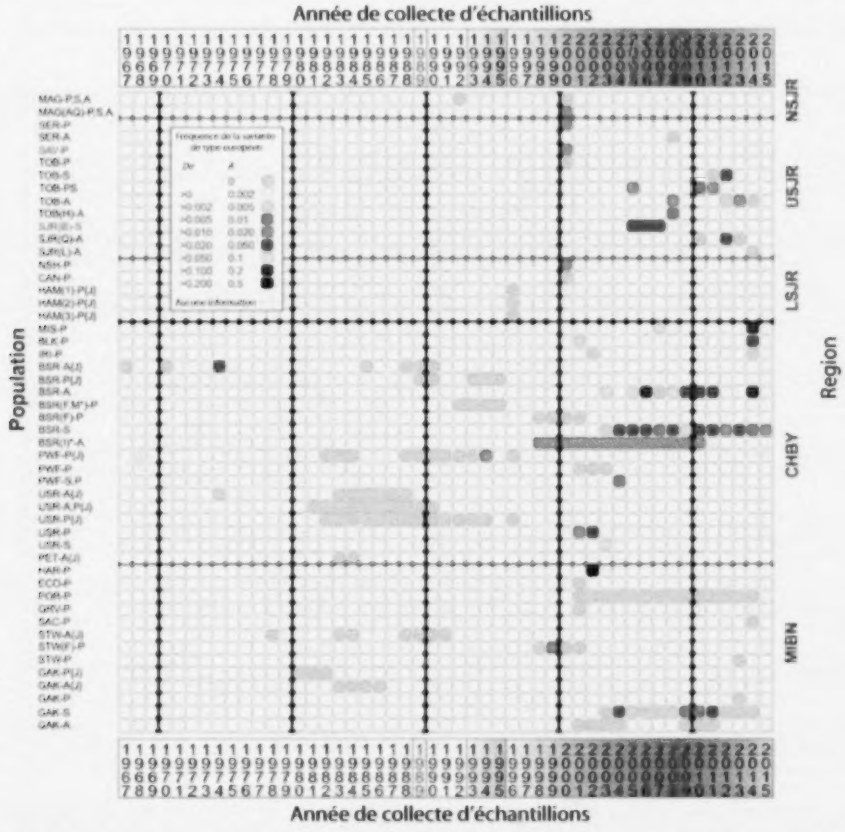


Figure 11. Fréquences d'allèles courts Ssa202 de type européen (< 255 bp) dans les collectes d'échantillons de saumon de l'Atlantique prélevés dans les rivières de la baie de Fundy (trois premiers caractères, axe des ordonnées, côté gauche de la figure) de 1967 à 2015 (axe des abscisses). Chaque polygone représente une collecte d'échantillons prélevés durant une année donnée dans un cours d'eau donné. La couleur indique la fréquence d'allèles courts Ssa202 de type européen, le blanc indique l'absence de renseignements sur l'échantillon et le gris indique qu'aucun allèle court Ssa202 de type européen n'a été observé. La sous-région ou la région figure sur l'axe des ordonnées, à droite (NSJR : non issu du fleuve Saint-Jean; USJR : cours supérieur du fleuve Saint-Jean; LSJR : cours inférieur du fleuve Saint-Jean; CHBY : baie Chignecto, du côté intérieur; MIBN : bassin Minas, du côté de l'intérieur de la baie). La première importation de saumon d'élevage européen dans la région remonte à 1989, mais les descendants des fugitifs (alevin d'âge 0, tacon d'âge 1 et saumoneau d'âge 2) ne devraient être prélevés dans les rivières environnantes qu'à partir de 1993-1995, ou, de façon plus probable, être détectés à partir de 1996 (voir l'axe des abscisses). Voir le tableau Aii 6 dans O'Reilly et al. (2018) pour connaître les codes d'identification à trois lettres associés aux noms de cours d'eau et obtenir de plus amples détails sur les caractéristiques des collectes d'échantillons, y compris la taille des échantillons.

Ces données, ainsi que d'autres résultats tirés de O'Reilly *et al.* (2018), démontrent que les saumons fugitifs d'élevage local (baie de Fundy/golfe du Maine) ayant une ascendance européenne, ou leur descendants hybrides issue d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains, semblent avoir frayé dans l'intérieur de la baie de Fundy au cours de la période s'étendant de 1997 à 2012, y compris durant la totalité ou la majorité des années comprises dans cette période. Il est possible que cela ait continué au cours des années suivantes, mais il faudra prélever des échantillons supplémentaires pour pouvoir le confirmer.

Ces résultats pourraient aussi laisser croire que les saumons d'élevage européens, ou leurs descendants hybrides issus d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains, ont frayé dans plusieurs rivières de l'intérieur de la baie de Fundy, qui ont presque toutes été échantillonnées (figure 11).

D'après les analyses des allèles *Ssa*202, des saumons hybrides issus d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains (N = 1 à 4) ont été détectés, avec un degré de certitude modéré, dans presque tous les échantillons de saumon de l'Atlantique prélevés chaque année (N = 7 à 34; moyenne = 15,3) dans la rivière Big Salmon, y compris ceux prélevés en 2003, en 2005, en 2006, en 2008, en 2010, en 2011 et en 2014. Huit individus ont été prélevés en 2007, mais aucun hybride issu d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains n'a été détecté, et aucun échantillon n'a été prélevé (ni analysé) en 2004, en 2012 et en 2013. De nombreux (une douzaine) saumons hybrides issus d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains, représentant possiblement deux à trois générations ayant été retirées des parents d'origine européenne pure, ont été détectés, avec un degré de certitude modéré, dans toutes les collectes annuelles de saumoneaux produits « en rivière » réalisées dans la rivière Big Salmon de 2004 à aujourd'hui. Ces individus ont été capturés pour qu'ils se reproduisent dans le cadre du programme de BGV de la rivière Big Salmon. Compte tenu du taux de détection d'allèles courts *Ssa*202 observé chez les saumoneaux de la rivière Big Salmon et des diminutions anticipées des fréquences de ces allèles chez la descendance hybride issue d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains, une proportion plutôt élevée (environ 10 à 25 %) des saumoneaux de la rivière Big Salmon produits « en rivière » pourrait présenter un certain degré d'ascendance européenne.

La présence spatiale et temporelle (et la fréquence) du frai de saumons d'élevage européens semble être plus élevée dans la baie Chignecto que dans les rivières du bassin Minas (figure 11), cela étant probablement dû à la distance côtière entre les embouchures de ces rivières et des baies Passamaquoddy et Cobscook (sites de salmoniculture intensive) ainsi qu'aux déplacements et au taux de survie des saumons fugitifs d'élevage (voir la figure 1).

Tant les fugitifs d'élevage européens de sexe masculin que de sexe féminin semblent s'être reproduits avec succès dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy. On soupçonne que les hybrides issus d'un croisement entre des individus d'élevage européens et nord-américains F1 à F4 auraient également frayé dans les rivières de l'intérieur de la baie, en majeure partie des parents mâles pleinement apparentés, probablement des tacons mâles matures. Ces constatations ont des répercussions non seulement sur le taux initial d'introgression des gènes de saumons d'élevage européens dans les populations sauvages, mais aussi sur la persistance des gènes de saumons d'élevage européens au sein des générations futures.

Un adulte de la rivière Big Salmon (BSR140905SOAD21) possédant un allèle *Ssa*202 de type européen a produit six adultes en montaison, alors que deux autres adultes possédant aussi un allèle *Ssa*202 de type européen (BSR070906SOAD0619 et BSR140905SOAD19) ont produit un adulte en montaison. Les deux saumons BSR140905SOAD21 et BSR070906SOAD0619 faisaient partie du même groupe d'individus étroitement apparentés, malgré le fait qu'ils semblent avoir hérité de leur allèle *Ssa*202-247 de différents parents mâles. La lignée de saumons associée à l'individu BSR140905SOAD21 a persisté sur au moins quatre générations. De plus, des individus appartenant à deux de ces générations sont allés en mer avant de revenir, phénomène intéressant compte tenu du faible succès de reproduction moyen entre adultes sur une vie dans l'intérieur de la baie de Fundy pour cette espèce à cette période.

La survie des hybrides d'élevage européens et nord-américains F3 à F4 au stade juvénile précoce pourrait être inférieure à celle des parents purs de la rivière Stewiacke dans l'habitat sauvage de la rivière Stewiacke.

Les hybrides d'élevage européens et nord-américains étaient présents dans les premières collectes d'échantillons de fondateurs prélevés dans les rivières Stewiacke et Big Salmon (1998-2001) ainsi que dans la rivière Gaspereau (2001-2004), mais cette proportion était sans doute faible. Néanmoins, des descendants des premiers hybrides d'élevage européens et nord-américains ont été détectés parmi les reproducteurs possibles de 2016 et seront également détectés parmi les reproducteurs possibles de 2017 à 2020.

Il est recommandé de procéder à d'autres études de laboratoire (y compris des analyses de la variation des microsatellites du locus Ss1) afin de confirmer ou d'informer les hypothèses concernant l'ascendance européenne chez les saumons de la rivière Big Salmon, en particulier chez ceux qui possède un seul allèle court de type européen.

Grâce aux renseignements sur la généalogie disponibles, il pourrait être possible de retirer la plupart ou la totalité des saumons de l'Atlantique présentant une ascendance de saumons d'élevage européens de la population de la BGV de la rivière Stewiacke avec un minimum de risque. Toutefois, d'autres analyses doivent être réalisées afin d'établir les coûts (hausse du taux de perte de variation génétique indigène) et les avantages (diminution de la prévalence du matériel génétique très divergent) associés à cette tentative d'élimination de l'ascendance européenne de la population de la BGV de la rivière Gaspereau. Les méthodes traditionnelles pourraient ne pas convenir pour l'élimination de l'ascendance européenne de la population de la BGV de la rivière Big Salmon.

Effets des régimes de gestion de remplacement sur les mesures de rendement des descendants (y compris la survie) en captivité et en milieu naturel

Rien n'indique que le milieu d'élevage des juvéniles précoces et des parents (en captivité versus dans la nature) puisse avoir des effets sur la survie en milieu sauvage des descendants aux stades initiaux (de la remise à l'eau à l'âge 1, 16 mois après la remise à l'eau). Durant certaines années, le milieu d'élevage des juvéniles précoces et des parents (en captivité versus dans la nature) pourrait avoir influencé la taille selon l'âge des descendants au cours de leur première année dans la nature; en effet, les descendants de saumons exposés au milieu naturel étaient de taille et de poids supérieurs aux descendants de parents élevés exclusivement en captivité. Aucun élément de preuve n'a permis de démontrer les effets cumulatifs négatifs possibles des milieux d'élevage en captivité des juvéniles précoces et des ancêtres (parents et grands-parents) sur la survie des descendants dans la nature (de la remise à l'eau à l'âge 1, 16 mois après la remise à l'eau).

Durant certaines années, on a observé une possible influence négative du nombre croissant de générations de reproduction et d'élevage en captivité sur la survie dans la nature et, bien que cette influence eût été moindre, le nombre de générations pour lesquelles de telles comparaisons étaient possibles (1 à 1,5) était assez restreint.

Rien n'indique que la taille moyenne et normalisée des familles de parents en milieu sauvage (indicateur de la survie ou de la valeur adaptative de la famille de parents) puisse avoir des effets sur la survie des familles de descendants en milieu sauvage; ces résultats éliminent presque toutes les préoccupations relatives au saumon de faible apparentement moyen ayant une préférence de frai, alors que les valeurs d'apparentement moyen ne représentent que partiellement la taille des familles en milieu sauvage.

Dans l'une des quatre années visées par l'évaluation (2010), l'apparentement moyen fondé sur la généalogie était fortement et positivement lié avec la survie de la famille en milieu sauvage; cela pourrait être une source de préoccupation, car les algorithmes de frai selon le procédé d'apparentement moyen classé accordent la priorité aux individus de faible apparentement moyen pour la reproduction, ce qui pourrait diminuer le taux de survie en milieu sauvage. Cependant, en 2010, la survie en milieu sauvage était aussi négativement liée avec le nombre de générations du programme; en effet, le taux de survie des individus présentant un plus grand nombre de générations du programme était généralement plus bas. Il y a de fortes chances que l'apparentement moyen et le nombre de générations du programme soient liés, car le degré de parenté devrait augmenter au fil du temps (au fil des générations). Ce lien manifeste entre l'apparentement moyen et la survie pour cette année pourrait en réalité refléter les effets de l'augmentation du nombre de générations du programme sur la survie des descendants. Outre les résultats susmentionnés,

- l'absence de lien entre l'apparentement moyen et le pourcentage de survie durant les autres années,
- l'absence de lien direct entre la taille des familles de parents en milieu sauvage et la taille des familles de descendants en milieu sauvage et
- la documentation scientifique disponible sur d'autres espèces ne présentant aucun lien entre l'apparentement moyen et d'autres indicateurs de valeur adaptative

laissent croire que ce lien manifeste est fort probablement un artefact. Toutefois, il est recommandé de continuer à surveiller la survie en milieu naturel dans le contexte de l'apparentement moyen.

Aucun lien entre la consanguinité généalogique et le rendement des descendants (survie ou taille) en milieu sauvage ou l'incidence, ou le pourcentage, de difformités chez les alevins en captivité, n'a été observé. Aucun lien statistiquement important n'a été établi entre l'hétérozygotie génétique moléculaire anticipée chez les descendants et la survie des familles en milieu sauvage, de la remise à l'eau à l'âge 1.

Il semblerait que les descendants issus de croisements exogames (Stewiacke x Economy, Stewiacke x Great Village ou Stewiacke x Debert) présentaient un taux de survie en milieu sauvage (de la remise à l'eau à l'âge 1) plus élevé que les descendants issus de croisements endogames (Stewiacke x Stewiacke), durant l'année où des données étaient disponibles. Les descendants issus de croisements exogames (Stewiacke x Gaspereau) ne semblaient pas présenter un taux de survie en captivité (de l'expulsion à la remise à l'eau) plus élevé que les descendants de croisements endogames (Stewiacke x Stewiacke ou Gaspereau x Gaspereau). Les descendants issus de croisements exogames (Stewiacke x Gaspereau) ne semblaient pas présenter un pourcentage de difformités chez les alevins plus faible que les descendants de croisements endogames (Stewiacke x Stewiacke ou Gaspereau x Gaspereau). Les résultats relatifs à la survie, de la remise à l'eau à l'âge 1 (en milieu sauvage) pour les croisements Stewiacke x Stewiacke, Stewiacke x Gaspereau et Gaspereau x Gaspereau seront disponibles à l'automne 2017 et ils permettront d'éclairer les décisions concernant l'introgression de gènes de la population de la rivière Gaspereau dans la population de la rivière Stewiacke.

On n'a observé aucune association entre les mesures de variation génétique moléculaire ou la consanguinité généalogique et la survie dans la nature ou l'incidence, ou le pourcentage, de difformités chez les alevins, quoique des descendants de croisements entre individus des rivières Economy ou Great Village et de la rivière Stewiacke aient été recensés.

Il a été démontré que l'âge du parent de sexe féminin, mais pas l'âge du parent de sexe masculin, avait un effet marqué sur de nombreux caractères de performance des descendants, y compris la survie dans la nature de la remise en liberté à l'âge 1, et que cet effet était constant sur plusieurs années. Il semblerait que cet effet soit en partie attribuable à la taille des œufs, mais l'âge du parent de sexe féminin a aussi été associé à une augmentation de la survie, indépendamment de la taille des œufs, durant certaines années.

Dans l'ensemble, la plupart des caractères surveillés au sein de la population de la rivière Stewiacke n'ont pas suivi de tendance perceptible pendant la durée du programme, à quelques exceptions près. Le taux de survie de la « fécondation à l'expulsion » semble avoir augmenté au fil du temps. Toutefois, cette tendance apparente pourrait en réalité refléter une hausse des taux de fécondation ou du succès de fécondation au fil des années. Beaucoup d'œufs morts ont été d'abord désignés comme étant des morts subséquentes à la fécondation. Toutefois, des analyses supplémentaires démontrent que la plupart de ces œufs n'avaient jamais été fécondés avec succès. Ainsi, après correction des taux de fécondation, le taux de survie de la fécondation à l'expulsion était relativement élevé (au-dessus de 99 %) et est demeuré élevé (96 %) de l'expulsion à la période précédant la remise à l'eau durant toutes les années visées par l'évaluation.

Bien qu'elles soient déjà observées à un très faible taux, soit < 1 %, les difformités chez les alevins semblent avoir diminué au cours des six dernières années du programme de BGV.

Il y a plus de femelles d'âge 2 qui quittent le cours d'eau au stade de saumoneaux que de mâles, qui restent vraisemblablement dans le cours d'eau pour y atteindre leur maturité en tant que tacons précoces.

Les adultes reproducteurs élevés en captivité de la rivière Stewiacke sont plus gros que les individus exposés au milieu naturel et que les individus sauvages; ils arrivent à maturité plus tôt que leurs homologues exposés au milieu naturel et le pourcentage d'adultes élevés en captivité qui atteignent la maturité à l'âge 4 augmente au fil des années. Il n'y avait aucune différence sur le plan de la longueur entre les adultes exposés au milieu naturel et les adultes sauvages lors du frai (âge 4), ce qui suggère que la naturalisation de l'environnement d'élevage pourrait atténuer certains effets du programme sur ce caractère.

Situation du saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy et différentes stratégies de remise à l'eau du programme de BGV

Les activités de surveillance du saumon de l'Atlantique, réalisées de 2001 à 2016 dans le cadre du programme de BGV, comportaient ou comportent toujours ce qui suit : deux relevés par pêche à l'électricité mis à jour pour le saumon juvénile (2013 et 2014); les estimations du nombre de saumoneaux qui émigrent hors des rivières Big Salmon et Gaspereau réalisées dans le cadre du programme annuel de marquage-recapture; les estimations du nombre d'adultes en montaison vers la rivière Big Salmon réalisées dans le cadre du programme annuel de marquage-recapture; les dénombrements annuels de saumons adultes en montaison vers la rivière Gaspereau; un résumé des collectes et des répartitions annuelles dans le cadre du programme de BGV; et une évaluation d'une expérience de croisement dans la rivière Pollet, un affluent de la rivière Petitcodiac (Jones et al. 2018). Les activités d'évaluation comportent toutes des analyses génétiques visant à estimer le succès du programme de BGV dans la prévention de la disparition de cette population de saumon menacée.

Relevés par pêche à l'électricité

Rivière Stewiacke (2013)

Un relevé par pêche à l'électricité d'envergure a été effectué du 20 août au 11 septembre 2013 dans l'ensemble de la rivière Stewiacke. Ce relevé visait à calculer la densité des populations de saumon dans divers affluents, à établir si un frai sauvage a lieu ou non et à évaluer la contribution des reproducteurs de la BGV (c.-à-d. en tant qu'adultes en montaison) au sein de la population de saumon de la rivière Stewiacke. Au total, 40 emplacements ont fait l'objet de ce relevé, dont 11 emplacements de référence historiques qui avaient déjà été échantillonnés pour surveiller les tendances relatives à l'abondance des juvéniles. Au total, 234 alevins et 168 tacons ont été capturés, leurs tissus ont été échantillonnés, et 379 juvéniles ont été transférés au centre de biodiversité de Coldbrook. Une analyse de l'ascendance a permis de relier 345 juvéniles à des paires de parents ou à des parents seuls; il a toutefois été impossible d'identifier un seul parent ou les deux parents pour 48 juvéniles. Une analyse de l'ascendance lointaine a ensuite été effectuée après l'ajout de deux loci. Elle a permis de relier deux groupes de grands-parents à 34 des 48 juvéniles, un groupe de grands-parents à 13 autres juvéniles; un seul juvénile n'a pu être relié à aucun groupe de grands-parents. Ces résultats indiquent la présence de deux reproductrices femelles « inconnues », qui pourraient être issues du milieu naturel ou de saumons non génotypés dans le système.

À grande échelle (2014)

Pour évaluer la situation récente de l'abondance de juvéniles dans les rivières non soutenues de l'intérieur de la baie de Fundy, un relevé par pêche à l'électricité d'envergure a été effectué en 2014, auquel ont participé de nombreux collaborateurs. Au total, 34 rivières ont été incluses dans le projet, dans le cadre duquel 85 emplacements ont fait l'objet d'un relevé du 11 août au 2 octobre 2014. Des saumons étaient présents dans seulement 7 des 34 rivières ayant fait l'objet d'un relevé, et à de faibles densités : rivières Irish, Mosher, Black et Mispec au Nouveau-Brunswick et rivières Salmon (Truro), Portapique et Great Village en Nouvelle-Écosse. L'analyse génétique des saumons capturés dans les rivières du Nouveau-Brunswick a démontré que ces poissons affichaient un profil de référence réparti principalement à l'extérieur de la baie de Fundy d'après le modèle de probabilités suggérant une descendance associée à de possibles poissons errants. La seule rivière soutenue par la BGV et faisant l'objet du relevé, la rivière Salmon (Truro), a été analysée afin d'évaluer le succès de reproduction des adultes non ciblés relâchés dans cet affluent, car il n'existait que très peu de preuves démontrant que les adultes relâchés précédemment s'étaient reproduits avec succès. Des saumons ont été détectés dans les trois sites étudiés; quatre tacons, 39 tacons et deux alevins y ont été capturés. Une analyse de l'ascendance a permis de relier 40 des 45 individus à des adultes reproducteurs sauvages remis à l'eau dans le cadre du programme de BGV de la rivière Stewiacke; il a toutefois été impossible d'identifier un seul parent ou les deux parents pour cinq juvéniles.

L'observation selon laquelle les saumons juvéniles ont complètement disparu ou se retrouvent en de très faibles densités dans les 33 rivières non supportées par la BGV échantillonnées dans le cadre d'un relevé par pêche à l'électricité à grande échelle indique une absence de montaison des saumons vraiment sauvages de l'intérieur de la baie de Fundy et laisse croire que ces saumons auraient fort probablement disparu sans le programme de BGV (figure 12).

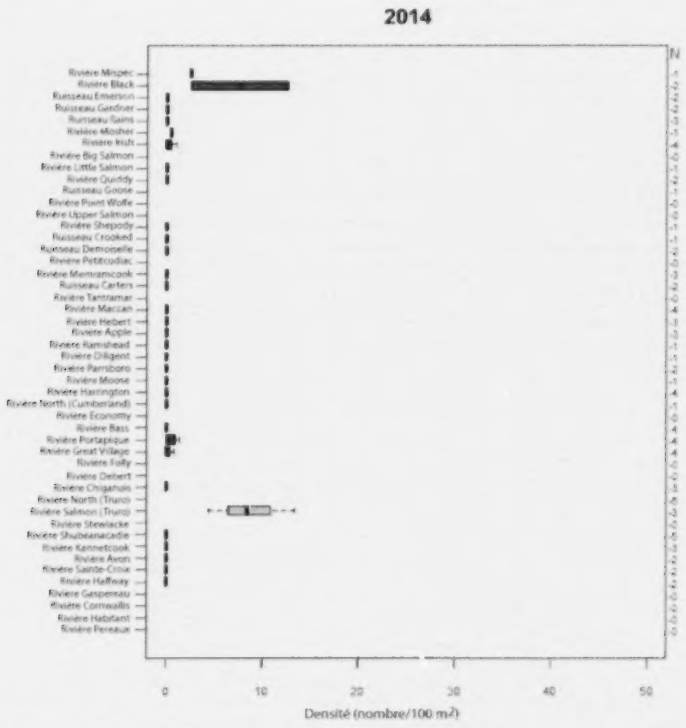


Figure 12. Densité de saumons de l'Atlantique juvéniles dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy d'après les relevés par pêche à l'électricité effectués en 2014. La colonne « N » représente le nombre d'emplacements ayant fait l'objet d'une pêche à l'électricité et le rectangle noir représente la densité médiane. Les moustaches illustrent les densités minimale et maximale observées chaque année. Les rivières soutenues par la BGV sont en orange, alors que celles non soutenues par la BGV sont en bleu. Les rivières qui comportent des espaces blancs n'ont pas fait l'objet d'une pêche à l'électricité.

Évaluation des saumoneaux

Pour faciliter la collecte annuelle de saumoneaux dans le cadre du programme de BGV, des programmes annuels d'évaluation des saumoneaux ont été mis en œuvre dans les rivières Big Salmon et Gaspereau en vue d'estimer l'abondance de saumoneaux selon leur origine. Ces données de surveillance des saumoneaux serviront à évaluer le taux de survie en rivière et en mer des descendants issus du programme de BGV et de tout adulte reproducteur sauvage restant. Dans la mesure du possible, des techniques de marquage et de recapture sont utilisées pour estimer l'abondance des saumoneaux dans ces rivières. Les saumoneaux et les tacons relâchés dans le cadre du programme de BGV étaient faciles à distinguer des alevins sauvages ou issus de la BGV relâchés par l'absence de nageoire adipeuse. Toutefois, l'origine (adultes reproducteurs ou alevins vésiculés de la BGV) des saumoneaux non marqués par une rognure de la nageoire adipeuse n'a pu être établie que grâce aux données génétiques disponibles. Combinée aux données d'évaluation, l'analyse génétique (ou processus d'attribution de la parenté) des échantillons de tissu prélevés au hasard sur des saumoneaux non marqués par une rognure de la nageoire adipeuse migrant hors du cours d'eau permet d'estimer l'abondance des saumoneaux selon leur origine. Les saumoneaux non marqués par une rognure de la nageoire adipeuse qui n'ont pas été associés à des parents issus du programme de BGV sont

regroupés en tant qu'« adultes reproducteurs » et englobent les descendants du reste de la population sauvage.

Depuis 2001, des saumoneaux en migration sont capturés dans la rivière Big Salmon à l'aide d'un piège rotatif installé chaque année près de l'embouchure de la rivière, à l'extrémité en amont de la fosse à saumon Amateur, du début mai à la mi-juin. Dans la rivière Gaspereau, les saumoneaux doivent emprunter un passage du poisson en aval traversant trois structures de dérivation en surface et comportant des pièges pour l'évaluation, qui sont généralement surveillés (dénombrement des saumoneaux) de la mi-avril à la fin mai, quoique cette plage de temps soit modifiée en fonction de la période de migration du saumoneau, qui varie selon la température de l'eau et les débits saisonniers.

De 2003 à 2016, la production annuelle de saumoneaux dans la rivière Big Salmon se chiffrait à environ 13 400 saumoneaux. Au cours de cette même période, les productions annuelles réparties selon l'origine vont comme suit : les adultes reproducteurs ont produit 4 729 poissons, les alevins vésiculés remis à l'eau de la BGV ont produit 4 646 poissons et les tacons de printemps et d'automne marqués par une rognure de la nageoire adipeuse et issus de la BGV ont produit 4 034 poissons. Les caractéristiques biologiques et le taux de survie en rivière observés dans le cadre des deux principales stratégies de remise à l'eau (c.-à-d. alevins de la BGV et tacons de la BGV) diffèrent toujours au cours de la période donnée. Le taux de survie en rivière des tacons de la BGV de leur remise à l'eau au stade de saumoneau est d'environ trois fois supérieur à celui des alevins vésiculés relâchés de la BGV (soit 6,6 % contre 1,8 %) [figure 13], même si les saumoneaux produits par les alevins vésiculés relâchés sont bien plus semblables d'un point de vue biologique (p. ex. moment de la montaison, taille selon l'âge, répartition selon l'âge) aux saumoneaux produits par les adultes reproducteurs (voir Jones *et al.* 2018 pour de plus amples détails).

Depuis 2007, le nombre total de saumoneaux ayant migré en amont du barrage de White Rock vers la rivière Gaspereau varie entre 1 174 et 7 354, pour une moyenne annuelle de 4 200 saumoneaux.

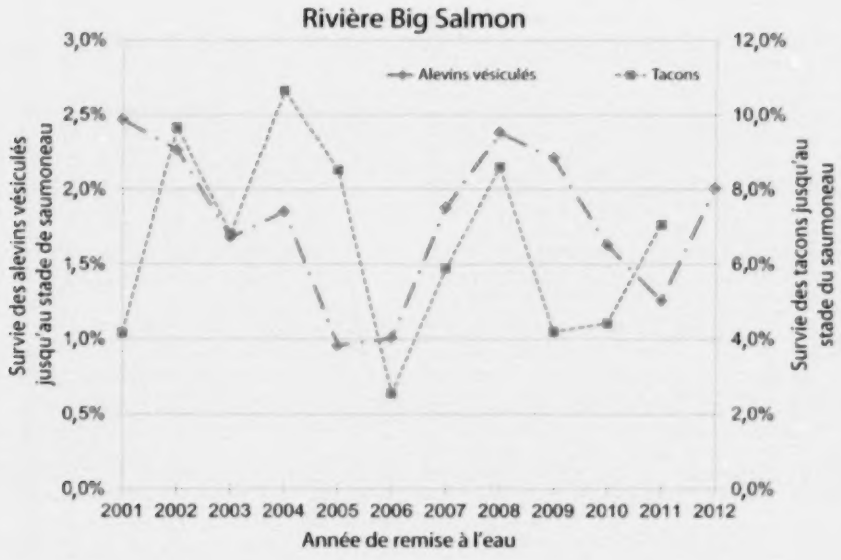


Figure 13. Remise à l'eau d'alevins vésiculés et de tacons issus de la banque de gènes vivants et taux de survie jusqu'au stade de saumoneau dans la rivière Big Salmon.

Évaluation des adultes

Les deux rivières-repères surveillées pour estimer l'abondance des adultes dans l'unité désignable de l'intérieur de la baie de Fundy et qui sont visées par le programme de BGV sont la rivière Big Salmon (Nouveau-Brunswick) et la rivière Gaspereau (Nouvelle-Écosse). L'état est évalué en comparant une estimation de la ponte (calculée à partir de l'abondance estimée et des caractéristiques biologiques des stocks de saumon) à un point de référence qui établit la ponte nécessaire à la conservation (œufs). La ponte nécessaire à la conservation (œufs) d'une rivière précise correspond à une ponte de 2,4 œufs/m^2 multipliée par l'étendue de l'habitat de croissance fluvial accessible d'un gradient adéquat.

Les estimations de l'abondance des adultes dans la rivière Big Salmon sont effectuées chaque année depuis 2001 à l'aide de la méthode suivante : tout d'abord, un relevé par plongée des saumons retenus dans les plus grandes fosses est effectué en début de saison, au mois d'août, ensuite un relevé des mêmes fosses est effectué en milieu de saison, généralement en septembre, suivi d'une activité de pêche à la senne/marquage, et, enfin, un relevé à la nage est mené dans trois tronçons en octobre. Si le nombre de saumons marqués était suffisant, une estimation de l'abondance pouvait être réalisée; dans le cas contraire, une valeur unique de marquage-recapture pour le recensement (0,57) était appliquée au relevé.

Les montaisons des adultes dans la rivière Gaspereau sont surveillées en comptant le nombre de petits et de grands saumons capturés dans une passe migratoire avec bassin conçue pour contourner le barrage de White Rock. Les saumons sont dénombrés au barrage de White Rock depuis 1995. En 2002, le barrage a été modernisé pour y installer un piège pour l'évaluation, et c'est à partir de cette date que les saumons seront transportés et conservés au centre de biodiversité de Coldbrook aux fins d'inclusion possible dans le programme de BGV.

Étant donné que le programme de BGV a été lancé dans les rivières Big Salmon et Gaspereau, la plupart des adultes en montaison capturés dans l'une ou l'autre de ces rivières ont fait l'objet

d'un échantillonnage de tissus pour déterminer leur origine. D'après l'analyse génétique, environ 24 % des montaisons de petits saumons dans la rivière Big Salmon (figure 14) et la majorité (71 % des petits saumons et 73 % des grands saumons) des montaisons d'adultes vers le barrage de White Rock sur la rivière Gaspereau découlent directement du programme de BGV (figure 15).

Le pourcentage de ponte requise pour la conservation dans les rivières Gaspereau et Big Salmon est bien en deçà des exigences en raison d'une survie faible en milieu marin. Le taux de montaison des saumoneaux jusqu'au stade de petit saumon observé au sein du groupe composé de reproducteurs adultes, d'alevins de la BGV et de tacons de la BGV était constamment en deçà de 1 % et de 0,32 % en moyenne de 2002 à 2016 dans la rivière Big Salmon (figure 16).

Le taux moyen de montaison des saumoneaux jusqu'au stade de petit saumon observé chez les saumoneaux provenant d'alevins de la BGV est de 0,18 %, soit environ trois fois supérieur au taux moyen de montaison observé chez les saumoneaux de la BGV qui ont été relâchés à l'état de tacons (figure 16, tableau 1).

Les taux de montaison des saumoneaux jusqu'à l'âge adulte observés dans la rivière Gaspereau depuis 2007 demeurent également très bas, mais ils pourraient fluctuer en raison de problèmes relatifs au passage en amont sur le barrage White Rock. D'autres problèmes concernant la connectivité de l'habitat et le passage du poisson ont été observés durant le relevé par pêche à l'électricité à grande échelle, qui a sans doute une incidence sur la présence du saumon dans plusieurs rivières de l'intérieur de la baie de Fundy (Jones et al. 2018).

Un résumé des caractéristiques biologiques comparatives relatives à la répartition selon la taille, à la répartition selon l'âge et au sex-ratio observées chez les adultes en montaison « sauvages » (adultes reproducteurs) et ceux issus de la BGV dans les rivières Big Salmon et Gaspereau a permis de constater que les résultats étaient similaires entre les groupes de chaque rivière, exception faite d'une proportion plus faible de femelles dans le groupe de saumons unibermarins de la BGV dans la rivière Gaspereau (Jones et al. 2018).

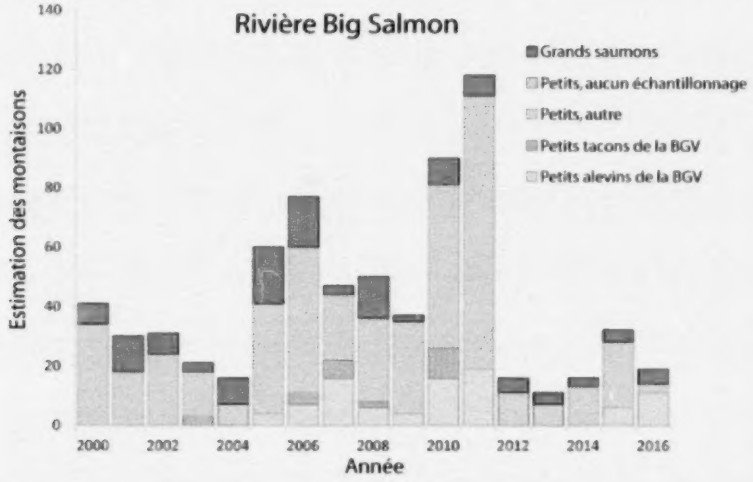


Figure 14. Estimations de montaisons des petits et des grands saumons vers la rivière Big Salmon, 2000 à 2016. Autres petits poissons = descendants d'adultes reproducteurs précédents ou petits saumons d'origine inconnue.

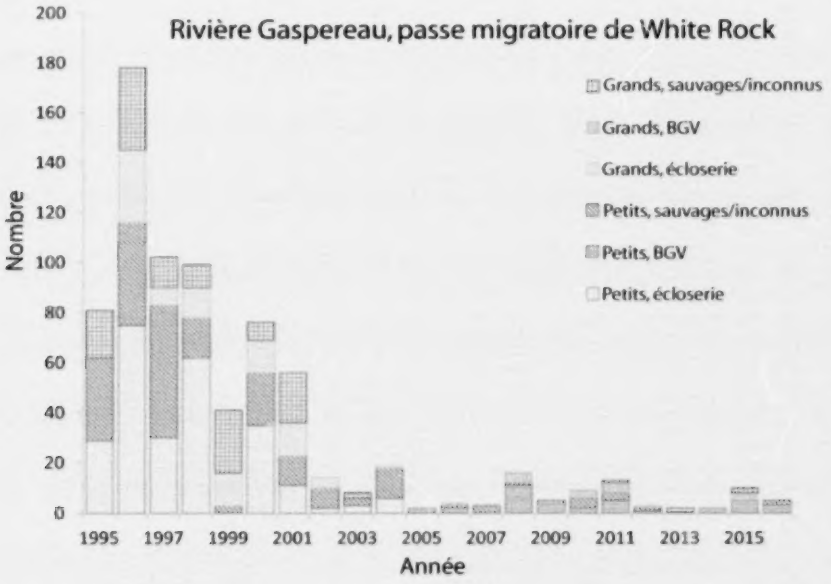


Figure 15. Nombre de petits et de grands saumons recensés dans la passe migratoire du barrage White Rock sur la rivière Gaspereau, 1995 à 2016.

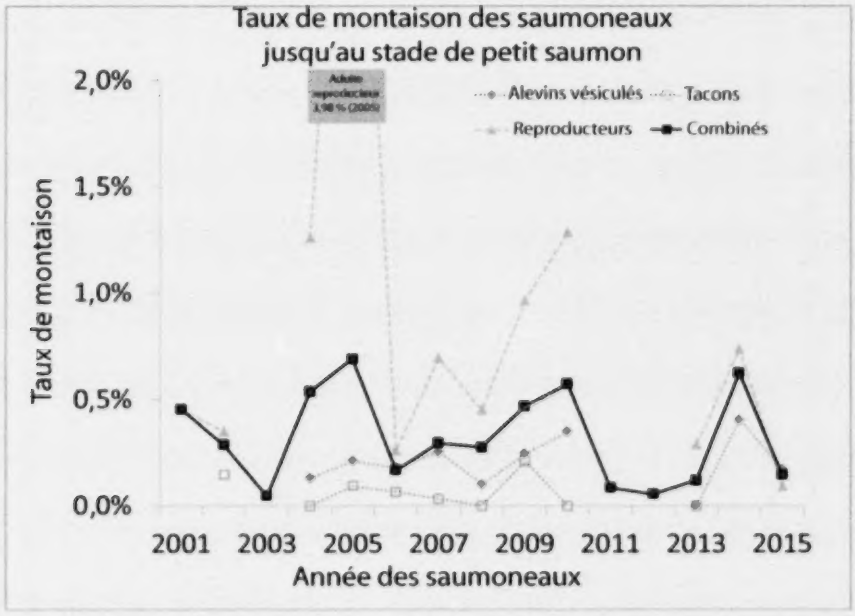


Figure 16. Taux de montaison des saumoneaux jusqu'au stade de petit saumon dans la rivière Big Salmon.

Tableau 1. Estimations des taux de montaison des saumoneaux jusqu'au stade de petit saumon pour les saumoneaux de la BGV (alevins et tacons relâchés) et descendants d'adultes reproducteurs dans la rivière Big Salmon, 2002 à 2016. S.O. = sans objet.

		Valeurs combinées[1]			Taux de montaison des saumoneaux jusqu'au stade de petit saumon par origine			
Saumoneaux Année	Saumoneaux de la BGV	Alevins vésiculés de la BGV	Tacons de la BGV	Reproducteurs adultes	Alevins vésiculés de la BGV	Tacons de la BGV	Reproducteur adulte	Valeurs combinées[1]
2001	0	S.O.	S.O.	5 290	S.O.	S.O.	0,45 %	0,45 %
2002	19 725	S.O.	2 035	4 295	S.O.	0,15 %	0,35 %	0,28 %
2003	13 647	3 640	6 120	5 560	Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	0,05 %
2004	13 224	3 036	1 691	2 934	0,13 %	0 %	1,26 %	0,54 %
2005	1 296	3 320	4 175	1 230	0,21 %	0,10 %	3,98 %	0,69 %
2006	1 413	8 954	8 940	8 401	0,18 %	0,07 %	0,26 %	0,17 %
2007	0	2 363	5 855	4 037	0,25 %	0,03 %	0,69 %	0,29 %
2008	0	3 909	2 110	6 841	0,10 %	0 %	0,45 %	0,27 %
2009	2 072	6 568	4 756	5 392	0,24 %	0,21 %	0,96 %	0,47 %
2010	2 077	5 464	6 840	7 156	0,35 %	0 %	1,29 %	0,57 %
2011	432	4 543	2 939	5 592	Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	0,08 %
2012	0	4 239	1 900	6 881	Aucune donnée	Aucune donnée	Aucune donnée	0,05 %
2013	0	5 350	1 050	4 490	0 %	0 %	0,29 %	0,12 %
2014	0	1 482	40	2 988	0,40 %	0 %	0,74 %	0,62 %
2015	0	6 435	0	3 255	0,17 %	S.O.	0,09 %	0,14 %

[1]Les valeurs combinées excluent les saumoneaux de la BGV qui ont été relâchés.

Expérience de croisement dans la rivière Petitcodiac

On croit que la rivière Petitcodiac a produit 20 % de la population de l'intérieur de la baie de Fundy avant la construction du pont-jetée à la fin des années 1960. La construction du pont-jetée, combinée au passage inefficace du poisson en amont et en aval et à une mortalité élevée en milieu marin, a mené à l'élimination de la population de saumon de ce grand bassin hydrographique. En 2010, l'ouverture du pont-jetée de la rivière Petitcodiac a permis de régler le problème concernant le passage du poisson dans le réseau. Cet habitat vierge représentait une occasion d'effectuer de multiples croisements au sein des différentes populations de l'intérieur de la baie de Fundy (p. ex. rivières Stewiacke, Gaspereau, Point Wolfe et Big Salmon et bassin New Minas) conservées au sein des centres de biodiversité du MPO en vue de déterminer si un croisement unique ou un croisement d'une rivière donnée pourrait produire des saumoneaux mieux adaptés à ce réseau qui présenteraient de meilleures conditions de survie en mer. Le bilan de l'expérience est le suivant : 337 622 et 37 246 alevins vésiculés ont été relâchés dans la rivière Pollet en 2011 et en 2012, respectivement.

Le Programme de restauration de l'habitat de Fort Folly a permis d'évaluer le taux de survie des alevins relâchés issus de divers croisements grâce au procédé d'échantillonnage des tissus de saumoneaux capturés au moyen de verveux et d'un piège rotatif installé dans la rivière Pollet aux printemps 2013, 2014 et 2015. Des techniques de marquage et de recapture ont été utilisées pour estimer l'abondance des saumoneaux durant ces années. En 2014, en 2015 et en 2016, des relevés d'adultes ont été effectués à la fin septembre, puis un relevé à la nage a été mené dans trois tronçons de la rivière Pollet pour détecter la présence de petits saumons en montaison issus des alevins relâchés, mais très peu d'adultes ont été observés au cours de ces trois années (Jones *et al.* 2018).

Les résultats de l'expérience de croisement dans la rivière Pollet indiquent que les alevins vésiculés issus de croisements de la rivière Big Salmon relâchés en 2011 affichaient un taux de survie au stade de saumoneau environ 2,3 fois supérieur à celui des alevins vésiculés relâchés produits par croisements éloignés dans le cadre du programme de BGV en Nouvelle-Écosse. Chose intéressante, bien que les saumoneaux d'âge 2 aient été élevés dans des conditions environnementales similaires, leurs taux de croissance semblaient avoir été influencés par leur rivière d'origine « génétique » (figure 17). Les descendants des parents croisés Stewiacke x Stewiacke étaient les plus petits, tandis que les saumoneaux produits par des saumoneaux issus de parents croisés Gaspereau et Gaspereau étaient les plus grands, et les saumoneaux croisés Big Salmon x Big Salmon étaient de taille moyenne, ce qui correspond dans l'ensemble aux données propres aux rivières recueillies de 2014 à 2016.

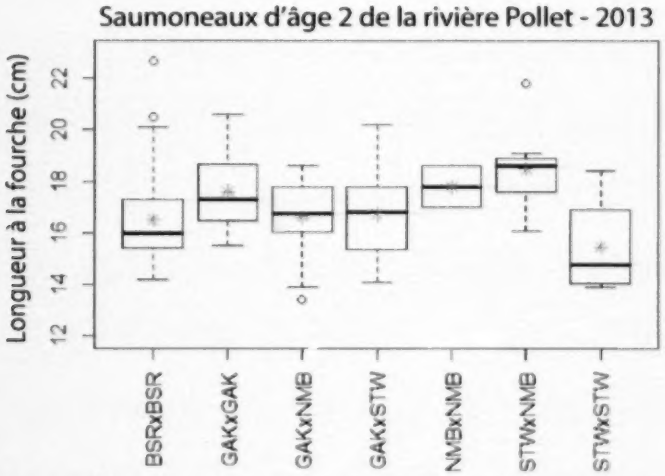


Figure 17. Résumé des données sur la longueur à la fourche par origine (croisement) pour les saumoneaux d'âge 2 de la BGV échantillonnés dans le cadre des projets d'évaluation sur la rivière Pollet en 2013. Les tracés indiquent la médiane ainsi que les 25e et 75e percentiles. Les barres d'erreur représentent les 10e et 90e percentiles, tandis que les valeurs aberrantes sont indiquées par des cercles. L'astérisque rouge indique la moyenne.

Sources d'incertitude

- Durant certaines années, les contraintes de financement et les contraintes opérationnelles (plateformes de génotypage variables et incapacité à évaluer la plage des durées à certains loci) ont entraîné des changements dans les ensembles de loci analysés chez des groupes de saumon qui ont frayé au cours d'une année donnée pendant la durée du programme. Par conséquent, les estimations de la diversité génétique de certaines populations, en particulier celles qui se caractérisent par des séries chronologiques de longue durée (15 ans), tiennent compte d'un faible nombre de loci et seront moins précises.
- Lorsque les groupes pleinement apparentés et étroitement apparentés sont de petite taille, les échantillons d'allèles parentaux prélevés dans le cadre d'analyses d'apparentement sont limités et les liens de parenté sont établis avec moins de précision.
- Les estimations du degré de consanguinité généalogique des individus et des familles ne tiennent pas compte de la consanguinité chez les ancêtres (c.-à-d. consanguinité découlant

d'un lien de filiation entre paires de reproducteurs appartenant à la deuxième génération ou à une génération antérieure de saumons).

- Dans une certaine mesure, les estimations du degré de consanguinité généalogique, ainsi que toute autre mesure de conservation de la variation génétique des parents fondateurs au fil du temps, seront influencées par les inexactitudes liées aux liens de parenté établis à l'origine.
- Les estimations des taux de perte de variation génétique basés sur les mesures du degré de consanguinité, les indicateurs des degrés de variation génétique moléculaire et la taille effective de la population ne reflètent que les effets des processus stochastiques (dérive génétique); en effet, la perte possible due aux effets de la sélection directionnelle dans des conditions d'élevage en captivité n'est pas prise en compte.
- La production, la remise à l'eau et la collecte de groupes de tacons exposés au milieu naturel de la rivière Stewiacke sont principalement effectuées dans le cadre du programme de BGV, et non aux fins de recherche. Ainsi, la qualité de la conception expérimentale est loin d'être optimale et l'analyse des différences entre les types de sous-groupes de traitement comporte des défis d'un point de vue statistique. Par exemple, la taille moyenne des échantillons de familles observée dans les collectes de tacons exposés au milieu naturel est relativement petite (moins de trois individus), et le nombre de croisements issus de différents types (p. ex. élevé en captivité contre exposé au milieu naturel) n'est pas toujours élevé ni équilibré.
- Il est possible que les différences génétiques observées au sein des familles aient contribué aux écarts signalés entre les traitements. On s'attend à ce que l'ampleur de cette préoccupation augmente à un taux inversement proportionnel au nombre de croisements issus de chaque type (p. ex. le nombre de croisements élevés en captivité dans la comparaison entre le rendement des descendants de parents exposés au milieu naturel et celui des descendants de parents élevés en captivité).
- Certaines constatations reposent sur des résultats tirés d'une ou de deux années d'éclosion ou d'un ou de deux groupes de classes d'âge, ce qui diminue le niveau de généralité des résultats observés.
- Des familles séparées par une génération au maximum (généralement composées d'individus de deuxième et de troisième générations) ont été soumises à des enquêtes portant sur les effets globaux du programme (nombre de cycles de reproduction et d'élevage en captivité). L'importance des différences de performance entre les caractères sous-estime les effets cumulatifs des procédés de reproduction et d'élevage en captivité à l'échelle globale ou multigénérationnelle (G0 à G3) sur les saumons visés par le programme de la rivière Stewiacke.
- Les estimations du taux de survie des types de croisements dans le milieu naturel, de la remise à l'eau à l'âge 2 et possiblement de la remise à l'eau à l'âge 1, sont basées sur le nombre de représentants des familles capturés au moyen de la pêche à l'électricité à cet âge. Parmi ces familles (et particulièrement entre les types de traitement), l'émigration différentielle hors du site de remise à l'eau pourrait influencer les estimations des effets de différentes variables prédictives analysées ici (p. ex. environnement d'élevage des parents, ascendance européenne, etc.).
- Les répartitions des fréquences des allèles entre le saumon européen et le saumon nord-américain aux loci microsatellites pour lesquels des renseignements sont disponibles se

chevauchent partiellement; en effet, il est impossible de distinguer quelques grands allèles européens de certaines variantes courtes d'origine nord-américaine.

- Les renseignements sur les fréquences des allèles pour toutes les sources de saumon d'élevage aux loci microsatellites analysés ici ne sont pas disponibles.
- Par ailleurs, les renseignements sur les fréquences des allèles au sein des populations de saumon sauvage hâtives (avant l'aquaculture) de l'extérieur de la baie de Fundy sont limités, ce qui a une incidence sur les évaluations visant à déterminer si les allèles microsatellites courts observés dans des échantillons prélevés récemment de ce groupe sont des variantes nord-américaines rares ou des allèles européens introduits depuis peu.
- La prévalence inter-locus des allèles courts de type européen observés chez les individus diminue considérablement avec chaque rétro-croisement générationnel d'hybrides issus d'un croisement avec des saumons nord-américains, ce qui réduit les chances de détecter des hybrides issus d'un croisement entre des individus d'origine européenne et de l'intérieur de la baie de Fundy sans avoir de renseignements concernant d'autres loci riches en information.
- En raison du faible taux de différentiation génétique entre les saumons du fleuve Saint-Jean (origine déclarée de la source locale de saumons d'élevage dans la région) et les saumons de l'intérieur de la baie de Fundy (plus particulièrement ceux de la baie Chignecto), il est plus difficile d'identifier les saumons présumés originaires du fleuve Saint-Jean (saumons d'élevage d'origine locale ou saumons sauvages errants du fleuve Saint-Jean), qui ont été capturés dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy, à l'aide d'essais individuels et des données sur les marqueurs disponibles.
- Les saumons d'origine inconnue capturés dans l'intérieur de la baie de Fundy qui sont reliés sans ambiguïté aux collectes d'échantillons de référence disponibles de l'extérieur de la baie de Fundy pourraient être des saumons d'élevage originaires du fleuve Saint-Jean ou des saumons sauvages errants du fleuve Saint-Jean. Malheureusement, les essais seuls ne peuvent permettre de les distinguer, compte tenu des renseignements disponibles sur la population d'origine et des données sur les marqueurs microsatellites. Il sera plutôt difficile de déterminer si les hybrides F1 issus d'un croisement entre des individus de l'intérieur de la baie de Fundy et de l'extérieur de la baie de Fundy observés dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy sont des descendants d'un parent originaire de l'intérieur de la baie de Fundy qui a frayé avec un saumon d'élevage fugitif originaire du fleuve Saint-Jean ou un saumon sauvage errant originaire du fleuve Saint-Jean.
- Les taux de montaison des saumoneaux jusqu'à l'âge adulte observés dans la rivière Gaspereau en aval du barrage de White Rock devraient être considérés comme étant des estimations minimales, étant donné que les incidences potentielles des activités hydroélectriques n'ont pas encore été mesurées de façon appropriée. L'efficacité du contournement vers l'aval au barrage de White Rock était estimée en moyenne à 42,7 % (variant de 16,5 à 66,7 %), ce qui indique qu'une importante proportion de saumoneaux en migration est exposée aux effets négatifs associés au passage dans les turbines. Par ailleurs, on croit que les faibles débits dans la portion de la rivière située en dessous de la passe migratoire avec bassin durant la période de remontée habituelle ont une incidence négative sur la remontée des adultes en montaison. Cette incertitude signifie que les données biologiques requises pour concevoir des modèles visant à éclairer les gestionnaires concernant la viabilité et le rétablissement de la population pourraient être uniquement disponibles pour la rivière Big Salmon, pour laquelle les données sont abondantes.

- À ce jour, la majorité des activités de surveillance et d'évaluation des poissons remis à l'eau dans le cadre du programme de BGV, à la fois en eau douce et en mer, étaient concentrées dans les rivières Big Salmon et Gaspereau. À l'exception de deux relevés par pêche à l'électricité effectués récemment, très peu d'efforts ont été consacrés à la surveillance d'autres rivières de l'intérieur de la baie de Fundy, y compris celles où des poissons à tous les stades biologiques ont été relâchés aux fins d'ensemencement, dont des adultes.

CONCLUSIONS ET AVIS

1) À l'heure actuelle, il est peu probable que la sélection naturelle maintienne ou augmente le taux de survie en mer dans les conditions actuelles (et possiblement changeantes) du milieu marin. Pour que la sélection naturelle ait une incidence sur la survie des saumoneaux jusqu'à l'âge adulte pour le saumon de l'Atlantique de la BGV de l'intérieur de la baie de Fundy, un nombre suffisant de saumoneaux doivent quitter l'une des rivières de l'intérieur de la baie de Fundy afin qu'un nombre faible à modéré d'adultes retournent soit pour se reproduire dans leur habitat riverain d'origine, soit pour s'introduire directement dans les populations de la BGV en tant que reproducteurs. Le nombre attendu de montaisons d'adultes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy (0 à 10 pour la plupart des années, à l'exception de la rivière Big Salmon) est probablement trop faible pour que la sélection naturelle soit très efficace dans le maintien ou l'augmentation de la survie dans les conditions actuelles et possiblement changeantes du milieu marin.

La situation pourrait être exacerbée par les préoccupations concernant l'origine des saumoneaux produits « en rivière » dans la rivière Big Salmon et la décision d'empêcher la reproduction de saumons qui ne peuvent être identifiés comme étant indigènes et originaires de la rivière Big Salmon. En ce moment, les saumoneaux produits « en rivière » et capturés dans la rivière Big Salmon sont les seuls porteurs de gènes qui pourraient être adaptés aux conditions actuelles en milieu marin dans le cadre du programme de BGV dans l'intérieur de la baie de Fundy (avec, en général, environ six adultes en montaison vers la rivière Gaspereau chaque année).

Pour dissiper ces préoccupations, il faut augmenter le nombre de saumoneaux migrant vers l'aval jusqu'à ce que le nombre de montaisons annuelles (au moins quelques douzaines) dans les rivières supportées de l'intérieur de la baie de Fundy soit suffisant.

Il existe plusieurs moyens d'augmenter le nombre de saumoneaux migrant vers l'aval, par exemple : a) en utilisant des écloseries pour parer le haut taux de mortalité chez les juvéniles précoces et produire directement de grandes quantités de saumoneaux en vue de la remise à l'eau au printemps; b) en augmentant le nombre d'alevins ou de tacons relâchés, de sorte que le taux de survie des saumoneaux est soit largement plus élevé qu'à l'heure actuelle; c) en augmentant le nombre d'adultes matures relâchés pour que les pontes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy soient suffisantes pour produire une grande quantité de saumoneaux survivants; et d) en augmentant le taux de survie « en rivière » (en eau douce) des œufs, des alevins et des tacons relâchés (ou le succès de reproduction des adultes relâchés).

En général, le taux de survie des saumoneaux jusqu'à l'âge adulte observé chez les saumons produits en écloserie était inversement proportionnel à la durée de captivité. En effet, on s'attend à ce que les saumoneaux produits en écloserie affichent un taux de survie en mer plus bas que les tacons produits en écloserie, et à ce que ces derniers affichent un taux de survie en mer plus bas que les alevins produits en écloserie. Les taux de montaison des saumoneaux produits en écloserie dans l'intérieur de la baie de Fundy pourraient être très bas, étant donné qu'aucune montaison n'a été observée chez les milliers de saumoneaux produits en écloserie

qui ont été relâchés dans la rivière Big Salmon au cours des dernières années. Autrement dit, on ne s'attend pas à ce que la production de saumoneaux en écloserie (a, ci-dessus) soit efficace; par conséquent, elle n'est pas recommandée pour le moment.

La simple augmentation de la production d'alevins produits en écloserie (b, ci-dessus) ou d'adultes relâchés (c, ci-dessus) devrait entraîner, dans le meilleur des cas, une augmentation proportionnelle du nombre de saumoneaux migrant vers l'aval (pourvu que l'augmentation du nombre d'alevins n'exacerbe pas la compétition entre les individus d'un habitat d'eau douce ou ne favorise pas la survie dépendante de la densité). En d'autres termes, compte tenu de la très faible survie en mer, il est peu probable que le nombre d'adultes en montaison augmenterait si le nombre de croisements et d'alevins relâchés (ou d'adultes relâchés) était doublé.

Il est toutefois possible d'augmenter considérablement le nombre de saumoneaux migrant vers l'aval ainsi que le nombre anticipé d'adultes en montaison en combinant les stratégies (b) et (d) décrites ci-dessus. Les recherches effectuées dans Harvie *et al.* (2018) permettent de mieux comprendre les variables (p. ex. âge des femelles lors du frai) qui sont susceptibles d'augmenter la survie de la remise à l'eau à l'âge 1, au minimum. Des recherches supplémentaires sont requises pour identifier d'autres variables (sous la direction des gestionnaires) qui pourraient augmenter davantage le taux de survie en eau douce des juvéniles précoces ou le succès de reproduction des adultes relâchés (voir Berejikian *et al.* 2003).

2) Dans la mesure du possible, il faut limiter l'ascendance européenne au sein des trois populations de la BGV de l'intérieur de la baie de Fundy et minimiser l'introgression de nouveaux gènes européens dans la population de la BGV de la rivière Big Salmon.

Population de la BGV de la rivière Stewiacke : On a minimisé l'introgression initiale de gènes de poissons d'élevage européens présumés dans la population de la BGV de la rivière Stewiacke, y compris les fondateurs G0, et des efforts continus visant à détecter et à retirer les descendants ont permis de limiter, dans une certaine mesure, l'ascendance européenne au sein de cette population. Par ailleurs, le nombre de nouveaux fondateurs (après 2001) qui ont été capturés et intégrés à la population de la BGV de la rivière Stewiacke correspondait essentiellement à zéro. Le retrait de la majorité ou de la totalité des poissons d'ascendance européenne de la population de la BGV de la rivière Stewiacke devrait être possible sans causer de perte supplémentaire de gènes indigènes de la rivière Stewiacke, et est actuellement recommandé. Voir O'Reilly *et al.* (2018) pour obtenir des renseignements sur lesquels des cinq groupes du stock de géniteurs élevés en captivité et exposés au milieu naturel présentent toujours une ascendance de saumons d'élevage européens.

Population de la BGV de la rivière Gaspereau : L'introgression initiale de gènes de poissons d'élevage européens présumés dans la population de la BGV de la rivière Gaspereau, y compris les fondateurs G0, s'est effectuée à plus grande échelle, et la collecte et l'utilisation continues de saumoneaux produits « en rivière » et prélevés au barrage de White Rock (au cours des dernières années) pourrait avoir entraîné une augmentation de l'introgression des gènes européens dans cette population de la BGV. Le retrait de la majorité ou de la totalité des poissons d'ascendance européenne de la population de la BGV de la rivière Gaspereau pourrait ne pas être possible sans entraîner un degré inacceptable de variation des fondateurs de la rivière Gaspereau. Des analyses supplémentaires devraient être effectuées pour déterminer les coûts et les avantages associés au tri des stocks de géniteurs pour en déceler une ascendance européenne. Toutefois, indépendamment du résultat de ces analyses, les nouveaux fondateurs possibles, capturés à l'âge adulte ou au stade de saumoneau au centre de White Rock, doivent être examinés avant de pouvoir frayer dans le cadre du programme de BGV.

Population de la BGV de la rivière Big Salmon : L'introgression initiale de gènes de poissons d'élevage européens présumés dans la population de la BGV de la rivière Big Salmon, y compris les fondateurs précoces G0 d'origine, semble avoir été minime. Cependant, de nombreux saumoneaux capturés dans la rivière entre 2003 et 2015 puis intégrés à la population de la BGV possédaient des allèles courts de type européen de 1 à 4 loci; par conséquent, certains poissons, voire tous, pourraient être des descendants des premiers saumons d'élevage européen. Il y a de fortes chances que la prévalence des gènes de poissons d'élevage européens au sein du stock de géniteurs de la rivière Big Salmon soit trop élevée pour que l'on puisse éliminer ces gènes sans causer de perte importante de la variation génétique des fondateurs de la rivière Big Salmon. Toutefois, l'introgression future d'autres gènes de saumons d'élevage européens présumés (et de gènes de saumon d'élevage nord-américains) dans le patrimoine génétique des saumons de la BGV de la rivière Big Salmon devrait être limitée au maximum. Pour ce faire, il faut exclure de la liste des parents possibles de la BGV tous les saumoneaux « capturés dans le milieu naturel » qui n'ont pas été produits par un croisement connu issu de la BGV dans la rivière Big Salmon ou par des parents originaires de la rivière Big Salmon (origine « connue ») qui ont frayé dans cette rivière.

Outre la limitation au maximum de l'introgression de gènes européens dans la population de la BGV de la rivière Big Salmon, les conséquences de cette décision sont les suivantes :
(i) limitation au maximum de l'introgression de gènes produits par des adultes reproducteurs sauvages dans le patrimoine génétique des saumons de la BGV de la rivière Big Salmon, entraînant potentiellement une augmentation de la domestication; et (ii) limitation au maximum de l'intégration de gènes qui ont survécu aux conditions actuelles en milieu marin dans la population de la BGV de la rivière Big Salmon, diminuant ainsi potentiellement le taux de survie en mer des saumons relâchés de la BGV de la rivière Big Salmon.

Un sous-groupe de présumés hybrides G0 issus d'un croisement avec des individus d'élevage européens devrait être analysé pour détecter la présence d'un SNP touchant le gène *Ssa1* et le gène mitochondrial ND1 aux emplacements 4079 et 4424 afin de confirmer ou d'informer les hypothèses concernant l'ascendance européenne.

3) Il faut augmenter le nombre de tacons exposés au milieu naturel de la rivière Steiwacke qui sont génotypés et contrôlés. En moyenne, la taille des familles observée chez les groupes génotypés de tacons exposés au milieu naturel est relativement petite (< 3,0). En faisant passer le nombre total de tacons exposés au milieu naturel génotypés chaque année de 250-300 à au moins 500, cela augmenterait la taille moyenne des familles et permettrait de mieux détecter les différences entre les groupes de traitement dans le futur (améliorant ainsi la qualité des travaux scientifiques et le potentiel de gestion adaptative du programme de BGV dans l'intérieur de la baie de Fundy). Si la capacité de génotypage était redirigée vers les groupes de descendants exposés au milieu naturel plutôt qu'à ceux élevés en captivité, cette augmentation pourrait se faire sans nécessiter de fonds supplémentaires. Par ailleurs, cela concorderait avec d'autres recommandations formulées (voir ci-dessous), à savoir qu'il est préférable de se réorienter vers la reproduction de saumons exclusivement exposés au milieu naturel plutôt que de poursuivre les efforts de reproduction des saumons élevés en captivité et exposés au milieu naturel.

4) Il faut continuer d'utiliser le plus de saumons exposés au milieu naturel possible plutôt que d'utiliser des saumons élevés en captivité et exposés au milieu naturel. À l'origine, un nombre semblable de saumons élevés en captivité et de saumons exposés au milieu naturel frayaient chaque année dans le cadre de ces trois programmes. Au fil du temps, on a assisté à un changement en matière de préférence de frai, qui a été accordée aux fratries exposées au milieu naturel plutôt qu'à celles élevées en captivité, à un point tel que la plupart des saumons qui ont frayé dans le cadre du programme de BGV au cours d'une année donnée avaient été

exposés à des conditions naturelles en rivière en tant que juvéniles. Compte tenu des résultats présentés dans Evans *et al.* (2014) concernant la préférence de survie accordée aux descendants de parents exposés au milieu naturel plutôt qu'à ceux élevés en captivité et des estimations convergentes de la variation de la taille des familles observée au fil du temps chez les groupes de descendants élevés en captivité par rapport à ceux exposés au milieu naturel (de 2002 à 2010), il est recommandé de poursuivre dans cette direction. Dans le cadre du programme de la rivière Stewiacke, il est recommandé d'assurer exclusivement la reproduction de saumons exposés au milieu naturel, et leurs homologues élevés en captivité ne devraient être élevés que pour parer aux imprévus, jusqu'à ce que des frères et sœurs exposés au milieu naturel aient été capturés puis transférés avec succès en écloserie. Les saumons élevés en captivité peuvent être relâchés au printemps de leur deuxième année de vie (âge 2). Il faut poursuivre les efforts déployés actuellement pour assurer la reproduction de saumons exposés au milieu naturel plutôt que de saumons élevés en captivité dans le cadre des programmes des rivières Big Salmon et Gaspereau.

5) Il est recommandé d'utiliser les algorithmes de gestion du stock de géniteurs selon l'apparentement moyen classé, de retarder la reproduction (de l'âge 4 à l'âge 5 uniquement) et d'isoler certains groupes d'années d'éclosion dans le cadre de la gestion de la population de la BGV de la rivière Stewiacke. Il est aussi recommandé de continuer à utiliser le régime actuel de gestion du stock de géniteurs qui a été mis en place pour la population de la rivière Stewiacke (apparentement moyen classé, maturation tardive, isolation d'années d'éclosion présentant un flux génétique limité, le cas échéant) pour ce groupe de saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy. Si la reproduction est retardée, cela diminuera le nombre de cycles de reproduction et d'élevage en captivité, et les résultats des recherches présentés dans Harvie et al. (2018) démontrent que la reproduction de mâles et de femmes d'âge 5 ne devrait pas avoir de répercussions négatives. L'isolation de groupes d'années d'éclosion et le maintien de grandes tailles effectives des populations (> 200, mais < 500) pourraient diminuer le taux d'adaptation à la captivité. Toutefois, il faut surveiller les populations pour déceler la présence de dépression consanguine et évaluer de temps à autre le degré de consanguinité cumulative. De faibles niveaux de flux génétique au sein des sous-populations pourraient être encouragés si la situation le justifie. Des études publiées ailleurs et les recherches menées sur le saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy (p. ex. dans des conditions pertinentes, y compris les niveaux de structuration familiale de la génération zéro) présentées dans O'Reilly *et al.* (2018) indiquent que les algorithmes de reproduction selon l'apparentement moyen classé sont censés réduire avec succès les taux de perte de variation génétique au fil du temps, au moins jusqu'à la dixième génération, et fort possiblement au-delà de celle-ci.

6) La conservation de la population de la BGV de la rivière Stewiacke devrait être hautement prioritaire. Les saumons de la rivière Stewiacke présentent (1) des caractéristiques phénotypiques uniques basées sur la génétique (petite taille selon l'âge et faible croissance compensatrice); (2) des fréquences élevées d'ADN mitochondrial de clades 1 à 3 de l'intérieur de la baie de Fundy (Verspoor *et al.* 2002; Verspoor *et al.* 2005; O'Reilly *et al.* 2018), semblable à celui observé dans les archives des collectes d'échantillons de l'intérieur de la baie de Fundy; et (3) peu d'influence d'une ascendance provenant de saumons d'élevage européens ou de saumons du fleuve Saint-Jean. La population actuelle pourrait encore conserver plusieurs caractéristiques génétiques de l'assemblage de populations d'origine de l'intérieur de la baie de Fundy.

7) Il faut tenter de déterminer s'il serait possible de modifier le programme actuel de la rivière Gaspereau pour y inclure toutes les modifications apportées dans le cadre du programme de la rivière Stewiacke, ou quelques-unes d'entre elles. À l'heure actuelle, les saumons de la rivière

Gaspereau sont gérés d'après les méthodes de soutien à l'apparentement moyen et les individus se reproduisent principalement à leur quatrième ou à leur cinquième année de vie. Cela assure un important flux génétique entre les groupes de classes d'âge, le maintien de très grandes tailles effectives des populations et des taux potentiels élevés d'adaptation à la captivité. L'utilisation de l'apparentement moyen classé pourrait réduire les taux de perte de variation génétique et la reproduction des saumons à l'âge 5 uniquement permettrait à la fois de diminuer le nombre de cycles de reproduction et d'élevage en captivité et d'isoler les années d'éclosion (se reporter au n° 6 ci-dessus pour de plus amples détails). Toutefois, il se pourrait que la biologie reproductive de cette population (reproducteurs frayant une année sur deux) soit incompatible avec ce régime de gestion, bien qu'il puisse exister des moyens pour corriger ce problème. Des analyses supplémentaires devraient être effectuées pour déterminer s'il serait possible d'adopter une partie ou la totalité de ces changements.

8) Le programme de reproduction de la rivière Big Salmon (soutien à l'apparentement moyen et reproduction à l'âge 4 ou à l'âge 5) devrait demeurer tel quel, du moins pour le moment. Le degré de variation génétique observé dans la rivière Big Salmon n'a pas diminué au cours des dernières années, et pourrait même avoir augmenté. Par ailleurs, le taux de survie élevé et variable observé par le passé chez les adultes de la rivière Big Salmon élevés au centre de Mactaquac de leur quatrième à leur cinquième année de vie (principalement attribuable aux agents pathogènes d'origine hydrique retrouvés dans la rivière accessible au centre) est incompatible avec la stratégie visant à retarder la reproduction à l'âge 5. Cependant, si les conditions devaient changer dans le futur (diminution de l'introgression de gènes provenant de sources non locales et diminution subséquente du degré de variation génétique de la population ou diminution du taux de mortalité de l'âge 4 à l'âge 5), il faudrait envisager d'apporter des modifications aux protocoles de reproduction.

9) Il est recommandé de continuer à assurer la cryoconservation de la laitance. Si possible, la laitance de mâles supplémentaires devrait être cryoconservée avant que d'autres modifications génétiques ne soient apportées. Cette laitance cryoconservée pourra ensuite être utilisée pour restaurer partiellement les caractéristiques génétiques du saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy.

10) Il existe plusieurs moyens visant à maintenir une taille effective de la population importante dans le cadre des programmes de BGV à l'intérieur de la baie de Fundy, chacun comportant un niveau d'utilisation des différentes ressources variable; ainsi, la meilleure approche devrait tenir compte de la rareté de chaque ressource à un moment précis. Indépendamment de l'approche choisie pour maintenir une taille effective de la population importante, il faut assurer un certain degré de surveillance génétique moléculaire pour évaluer continuellement le programme de conservation recommandé et veiller à ce que les taux de perte de variation génétique et le degré de consanguinité demeurent dans les limites acceptables.

11) Il faudrait envisager l'évaluation et l'utilisation de nouveaux marqueurs génétiques moléculaires dans la gestion et la conservation du saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy (polymorphismes touchant un nucléotide unique ou SNP). Ces renseignements peuvent servir à conserver les filiations (par processus d'attribution de la parenté), à mener d'autres recherches et, possiblement, à assurer une gestion adaptative plus efficace des programmes de BGV et d'ensemencement de l'intérieur de la baie de Fundy. Voici quelques exemples de recherches possibles : a) identification de marqueurs permettant de détecter (et d'éliminer) l'ascendance de saumons d'élevage européens et sans doute de saumons d'élevage nord-américains; b) études génomiques sur les effets de la reproduction et de l'élevage en captivité; et (éventuellement) c) identification des gènes ou des régions chromosomiques associés à un haut taux de survie en mer.

12) Il faudrait envisager de diversifier les programmes génétiques et sur le terrain dans la rivière Stewiacke afin d'assurer le suivi des taux de survie selon le stade biologique, de façon comparable aux programmes en place dans les rivières Big Salmon et Gaspereau. À l'heure actuelle, la majorité des données recueillies pour l'évaluation du programme de BGV de la rivière Stewiacke portent sur la surveillance de la diversité génétique. Le programme d'évaluation des saumoneaux (qui comporte l'utilisation d'un piège rotatif), une initiative du Mi'kmaw Conservation Group appuyée par le Secteur des sciences du MPO, représente déjà un bon début. La diversification du programme de la rivière Stewiacke permettrait à une autre rivière que la rivière Big Salmon d'évaluer la viabilité de sa population. Il faudrait également envisager d'examiner l'ensemble de données existantes sur le taux de survie des individus de la BGV en rivière, dans la rivière Big Salmon, y compris l'origine parentale (en captivité et exposés au milieu naturel), les variables environnementales, la densité de repeuplement et la date de remise à l'eau des survivants de la BGV en rivière.

13) Il semblerait approprié d'effectuer un relevé par pêche à l'électricité à grande échelle pour étudier la montaison des reproducteurs anadromes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy tous les dix ans. Des relevés par pêche à l'électricité à grande échelle ont été effectués en 2000, en 2002, en 2003 et en 2014. Le relevé par pêche à l'électricité 2014 avait pour but de mettre à jour la présence et l'absence ainsi que l'abondance et l'origine des saumons juvéniles dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy non supportées par la BGV aux fins d'examen du programme de rétablissement.

14) Dans le cadre du programme de rétablissement de l'intérieur de la baie de Fundy, il faudrait envisager de se concentrer davantage sur le rétablissement des populations sauvages autosuffisantes plutôt que sur le maintien de la variation génétique. Jusqu'à présent, la majeure partie des efforts ont été consacrés à la conservation de la variation génétique ou à l'atteinte de la première partie de l'objectif 1 du Programme de rétablissement du saumon de l'Atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy (préservation des caractéristiques génétiques du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy et rétablissement des populations autosuffisantes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy). Il pourrait être utile de se consacrer davantage sur la deuxième partie de cet objectif (soit le rétablissement des populations autosuffisantes dans les rivières de l'intérieur de la baie de Fundy). Par exemple, le nombre de juvéniles relâchés dans le cadre du programme d'ensemencement pourrait être augmenté.

Si un changement d'orientation du programme de rétablissement à l'intérieur de la baie de Fundy devait être envisagé, par exemple pour passer du maintien de la variation génétique au rétablissement des populations sauvages autosuffisantes, la mesure dans laquelle les ressources devraient être redirigées devrait tenir compte à la fois des coûts (p. ex. efficacité réduite liée au maintien de la variation génétique) et des avantages (p. ex. la probabilité que des progrès soient réalisés dans le rétablissement des populations autosuffisantes selon les conditions actuelles en milieu marin).

Le processus de rétablissement des populations autosuffisantes pourrait être simplifié en améliorant le rendement (y compris la survie) des juvéniles qui ont été produits dans le cadre du programme d'ensemencement. La publication de Harvie et al. (2018) fournit certains renseignements sur les mesures qui pourraient augmenter la taille selon l'âge (p. ex. modification de l'environnement de captivité des parents) et sur d'autres mesures qui semblent entraîner une hausse du taux de survie en milieu naturel jusqu'à l'âge 1 au minimum (augmentation de l'âge des parents et de la taille des œufs). Des recherches supplémentaires sont requises pour identifier d'autres variables qui pourraient augmenter davantage le taux de survie des descendants en eau douce et en mer tout au long du cycle biologique de cette espèce.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion sur l'examen de la science associée à la banque de gènes vivants du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy qui a eu lieu du 13 au 16 juin 2017. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada.

Amiro, P.G. 2003. Population Status of Inner Bay of Fundy Atlantic Salmon (*Salmo salar*). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., No. 2488: 39 p.

Berejikian, B.A., Fairgrieve, W.T., Swanson, P., and Tezak, E.P. 2003. Current Velocity and Injection of GnRHa Affect Reproductive Behaviour and Body Composition of Captively Reared Offspring of Wild Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Can. J. Fish Aquat. Sci. 60: 690-699.

COSEPAC (Comité sur la situation des espèces en péril au Canada). 2006. COSEPAC, Sommaire de l'évaluation – novembre 2008 : Éperlan arc-en-ciel – Population de l'éperlan arc-en-ciel de grande taille du lac Utopia.

MPO (Pêches et Océans Canada). 2008a. Évaluation des installations d'élevage en captivité dans le contexte de leur contribution à la conservation de la biodiversité. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2008/027.

MPO. 2008b. Évaluation du potentiel de rétablissement du saumon atlantique de l'arrière-baie de Fundy. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2008/050.

MPO. 2010. Programme de rétablissement du saumon atlantique (*Salmo salar*), populations de l'intérieur de la baie de Fundy [version finale]. Programmes de rétablissement en vertu de la *Loi sur les espèces en péril*. Ottawa : Pêches et Océans Canada. xiii + 67 p. + annexes.

Evans, M., Wilke, N.F., O'Reilly P.T., and Fleming I.A. 2014. Transgenerational Effects of Parental Rearing Environment Influence the Survivorship of Captive-born Offspring in the Wild. Conserv. Lett. 7: 371-379.

Gibson, A.J.F., and Amiro, P.G. 2003. Abundance of Atlantic Salmon (*Salmo salar)* in the Stewiacke River, NS, from 1965 to 2002. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2003/108.

Gibson, A.J.F., Bowlby, H.D., Bryan, J.R., and Amiro, P.G. 2008. Population Viability Analysis of Inner Bay of Fundy Atlantic Salmon With and Without Live Gene Banking. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2008/057.

Harvie, C., McWilliams-Hughes, S.M., et O'Reilly, P.T. 2018. Effets de trois générations d'élevage en captivité et d'élevage sur la survie, la croissance et d'autres caractéristiques phénotypiques du saumon atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/042.

Herbinger, C.M., O'Reilly, P.T., and Verspoor, E. 2006. Unravelling First-generation Pedigrees in Wild Endangered Salmon Populations Using Molecular Genetic Markers. Mol. Ecol. 15: 2261-2275.

Jones, R.A., Ratelle, S.M., Tuziak, S., Harvie, C., Lenentine, B., and O'Reilly, P.T. 2018. Examen des activités de surveillance du saumon atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy associées à la banque de gènes vivants. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/043.

Lacy, R.C., Ballou, J.D., and Pollak, J.P. 2012. PMx: Software Package for Demographic and Genetic Analysis and Management of Pedigreed Populations. Methods Ecol. Evol. 3: 433-437.

O'Reilly, P., and Doyle, R. 2007. Live Gene Banking of Endangered Populations of Atlantic Salmon; pp. 436-482. *In* Eric Verspoor, Lee Stradmeyer and Jennifer L. Nielsen (eds.) The Atlantic Salmon: Genetics, Conservation and Management. Blackwell Publishing.

O'Reilly, P.T., and Harvie, C.J. 2010. Conservation of Genetic Variation in the Inner Bay of Fundy Atlantic Salmon Captive Breeding and Rearing Program. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/095. viii + 53 p.

O'Reilly, P., and Kozfkay, C. 2014. Use of Microsatellite Data and Pedgiree Information in the Genetic Management of Two Long-term Salmon Conservation Programs. Rev. Fish Biol. Fish. 24: 819-848.

O'Reilly, P.T, Harvie, C.J., et McWilliams-Hughes, S.M. 2018. Changements génétiques dans le saumon atlantique de l'intérieur de la baie de Fundy entre trois générations d'élevage en captivité et d'élevage. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/044.

Verspoor, E., O'Sullivan, M., Arnold, A.L., Knox, D., and Amiro, P.G. 2002. Restricted Matrilineal Gene Flow and Regional Differentiation Among Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) Populations Within the Bay of Fundy, Eastern Canada. Heredity 89: 465-472.

Verspoor, E., O'Sullivan, M., Arnold, A.L., Knox, D., Curry, G., Lacroix, G., and Amiro, P.G. 2005. The Nature and Distribution of Genetic Variation at Mitochondrial ND1 Gene of the Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) Within and Among Rivers Associated with the Bay of Fundy and the Southern Uplands of Nova Scotia. FRS Research Services Internal Report No. 18/05.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région des Maritimes
Pêches et Océans Canada
Institut océanographique de Bedford
1, promenade Challenger, C.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

Téléphone : 902-426-7070
Courriel : XMARMRAP@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-5117
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2018. Examen de la science associée à la banque de gènes vivants du saumon de l'intérieur de la baie de Fundy et aux programmes d'ensemencement. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2018/041.

Also available in English:

DFO. 2018. Review of the Science Associated with the Inner Bay of Fundy Atlantic Salmon Live Gene Bank and Supplementation Programs. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2018/041.